



HAL
open science

Taux protéique et qualité fromagère des laits : maîtrise des facteurs de production

Odile Colin

► **To cite this version:**

Odile Colin. Taux protéique et qualité fromagère des laits : maîtrise des facteurs de production. Alimentation et Nutrition. Institut National Polytechnique de Lorraine, 1990. Français. NNT : 1990INPL114N . tel-01776169

HAL Id: tel-01776169

<https://hal.univ-lorraine.fr/tel-01776169v1>

Submitted on 24 Apr 2018

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

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



AVERTISSEMENT

Ce document est le fruit d'un long travail approuvé par le jury de soutenance et mis à disposition de l'ensemble de la communauté universitaire élargie.

Il est soumis à la propriété intellectuelle de l'auteur. Ceci implique une obligation de citation et de référencement lors de l'utilisation de ce document.

D'autre part, toute contrefaçon, plagiat, reproduction illicite encourt une poursuite pénale.

Contact : ddoc-theses-contact@univ-lorraine.fr

LIENS

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 122. 4

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 335.2- L 335.10

http://www.cfcopies.com/V2/leg/leg_droi.php

<http://www.culture.gouv.fr/culture/infos-pratiques/droits/protection.htm>

**INSTITUT NATIONAL POLYTECHNIQUE DE LORRAINE
E.N.S.A.I.A.**

**Laboratoire d'Agrobiotechnie
Département des Sciences et Techniques
des productions Animales**

T H E S E

présentée à

L'INSTITUT NATIONAL POLYTECHNIQUE DE LORRAINE

**en vue de l'obtention du
DOCTORAT DE L'INPL**

**par
Odile COLIN**

**TAUX PROTEIQUE ET QUALITE FROMAGERE DES LAITS :
MAITRISE DES FACTEURS DE PRODUCTION**

soutenue publiquement le 21 Décembre 1990 devant la Commission d'Examen

Membres du Jury :

**Rapporteurs : G. LINDEN
B. YIGNON**

**Membres : R. GRAPPIN
J. HARDY
F. LAURENT
M. YERDENAL**

*La mort nous fait toujours trop vite disparaître
mais notre passage reste tracé par ce que nous avons construit.*

A Denis,

Pour l'amitié que nous partageons,
les conseils et l'appui pratique dont il a su me faire bénéficier,
que l'achèvement de ce travail rappelle celui qu'il avait engagé.

AVANT-PROPOS

Mes premiers remerciements vont à Monsieur VIGNON, professeur de Zootechnie à l'INPL, et initiateur de ce travail, pour sa disponibilité et son aide dans les difficultés rencontrées. Qu'il trouve ici l'expression de ma reconnaissance pour l'honneur qu'il me fait de présider ce jury.

Que Monsieur LAURENT, professeur de Biologie Agroalimentaire à l'Université de Nancy I, pour son intérêt constant pour ces travaux, sa tenacité respectueuse à me faire aller jusqu'au bout de mon raisonnement et ses conseils objectifs, reçoive ici mes profonds remerciements, non toujours exprimés au cours de la progression de ce travail.

Je remercie chaleureusement Monsieur VERDENAL, directeur de l'Union Lorraine des Producteurs de Lait, pour avoir facilité le financement et la conduite de cette étude. Qu'à travers lui, les éleveurs et le personnel de l'ULPL ayant collaboré à ce travail soient sincèrement remerciés.

Que Monsieur HARDY, professeur à l'INPL et directeur de l'ENSAIA, dont la présence dans ce jury témoigne de l'appui trouvé au sein du laboratoire de Physicochimie des Aliments, ainsi que les membres de ce laboratoire dont j'ai sollicité les conseils, et en particulier Monsieur GILLET, trouvent ici l'expression de mes remerciements.

Mes remerciements s'adressent également à Monsieur LINDEN, Professeur de Biochimie Appliquée à l'Université de Nancy I et chef du département Technologie Laitière et Génie Industriel Alimentaire à l'INRA, et à Monsieur GRAPPIN, directeur de la station expérimentale laitière de Poligny, pour avoir accepté de juger ce travail.

J'exprime toute ma gratitude aux ingénieurs de l'antenne ITEB de Nancy pour leur accueil chaleureux, et en particulier à Martine KEMPF-RAPIN, ingénieur qualité du lait, pour le partage d'expériences qui nous a permis d'avancer dans notre réflexion, commune sur de nombreux points.

Que les industriels laitiers réunis au sein d'ARILEST, la Région Lorraine et la Direction Générale de l'Alimentation trouvent dans l'achèvement de ce document une concrétisation de leur soutien financier.

Enfin, que l'ensemble des enseignants, chercheurs et techniciens du laboratoire des Sciences et Techniques des Productions Animales, et tous ceux qui ont contribué, de près ou de loin, à la réalisation de cette thèse, reçoivent l'expression de ma sympathie.

Abréviations

ACP	analyse en composante principale
AFC	analyse factorielle des correspondances
α la	alphalactalbumine
ANP	azote non protéique
β Ig A	betalactoglobuline variant A
β Ig B	betalactoglobuline variant B
α S-CN	caséines alphas
β -CN	caséine beta
γ -CN	caséines gamma
K-CN	caséine kappa
FPLC	Fast protein liquid chromatography
HPLC	High pressure liquid chromatography
K ₂₀	temps d'obtention de la fermeté standard
I lait	index lait
I QMMU	index quantité moyenne de matière utile
I TMMU	index taux moyen de matière utile
J+1	1 jour après transformation
J+3	3 jours après transformation
J+10	10 jours après transformation
MAC	matières azotées coagulables par la présure
MAT	matières azotées totales
MG	matière grasse
MS	matière sèche
Ncas	teneur en azote caséique
Npls	teneur en azote des protéines du lactosérum
Nprot	teneur en azote protéique
Nsol	teneur en azote soluble à <u>nH 4,6</u>
Ntotal	teneur en azote total
PDIE	protéines digestibles dans l'intestin permises par l'énergie
PDIN	protéines disgestibles dans l'intestin permises par l'azote
PLS	protéines du lactosérum
R	temps de coagulation
Ten. Prot.	teneur en protéines (Nprot x 6,38)
Tf	temps de floculation
TCas	taux de caséines
TP	taux protéique
UFL	unités fourragères laits
VL	vache laitière

SOMMAIRE

Résumé	1
Introduction générale	3

BIBLIOGRAPHIE

Introduction	5
Première partie : Matières azotées et transformation fromagère du lait	6
I-Composition des matières azotées totales.....	6
I.1 - Caséines.....	6
I.1.1 - Composition.....	6
I.1.2 - Structure physique.....	7
I.2 - Protéines du lactosérum.....	8
II - Aptitude fromagère du lait.....	8
II.1 - Principes généraux de la transformation fromagère.....	9
II.1.1 - La coagulation du lait.....	9
II.1.2 - L'égouttage du coagulum: la formation du caillé.....	10
II.1.3 - L'affinage du caillé: le fromage.....	11
II.2 - Appréciation de l'aptitude fromagère d'un lait par les paramètres technologiques.....	11
II.2.1 - Paramètres de coagulation.....	11
II.2.2 - Paramètres de raffermissement du coagulum.....	12
II.2.3 - Paramètres d'égouttage.....	12
II.2.4 - Paramètres technologiques et rendement fromager.....	13
II.3 - Influence de la composition physico-chimique des laits sur leur aptitude fromagère.....	13
II.3.1 - Influence des composants du lait sur les paramètres technologiques.....	13
a) Composants protéiques.....	14
b) Matière grasse.....	16
c) Minéraux.....	16
d) Caractéristiques physiques du lait.....	17
c) Conclusion.....	18
II.3.2 - Influence des composants du lait sur le rendement.....	18
a) Solides totaux.....	19
b) Composants protéiques.....	19
c) Matière grasse.....	21
d) Interactions protéines-matière grasse.....	21
e) Minéraux.....	22
II.3.3 - Conclusion.....	22

Deuxième partie: Facteurs de variation des teneurs en protéines et de la qualité fromagère des laits.....24

I - Facteurs propres à l'animal.....	24
I.1 - Race.....	24
I.2 - Niveau génétique.....	26
I.2.1 - Paramètres génétiques.....	26
I.2.2 - Influence du potentiel génétique.....	27
I.3 - Numéro de lactation.....	27
I.4 - Stade de lactation.....	28
II - Facteurs extérieurs à l'animal.....	30
II.1 - Saison et climat.....	30
II.1.1 - Variations saisonnières de la composition du lait.....	30
II.1.2 - Effet de la température.....	31
II.1.3 - Effet de la photopériode.....	31
II.2 - Facteurs pathologiques les infections mammaires.....	32
II.3 - Alimentation.....	33
II.3.1 - Nature de la ration de base.....	33
II.3.2 - Apports énergétiques.....	34
a) Niveau des apports énergétiques.....	34
b) Nature des apports énergétiques.....	37
II.3.3 - Apports azotés.....	37
a) Niveau des apports azotés.....	37
b) Nature des apports azotés.....	38
II.3.4 - Aliments complémentaires.....	39
II.3.5 - Conclusion.....	40
III - Conclusion.....	40

MATERIEL ET METHODES

Première partie : Protocoles expérimentaux.....42

I - Interventions en élevage.....	42
I.1 - Modifications de l'apport énergétique.....	42
I.1.1 - Essais préliminaires.....	42
a) Objectif.....	42
b) Protocole.....	42
c) Caractéristiques des troupeaux.....	43
I.1.2 - Maîtrise de l'apport énergétique.....	43
a) Objectif.....	43
b) Protocole.....	44
c) Caractéristiques des troupeaux.....	45
← I.2 - Tri des vaches laitières sur le taux protéique.....	45
a) Objectif.....	45
b) Protocole.....	45
c) Caractéristiques des VL éliminées.....	46

II - Essais de transformation fromagère.....	46
II.1 - Influence du niveau du TP sur la transformation fromagère.....	46
a) Objectif.....	47
b) Protocole.....	47
c) Caractéristiques des troupeaux.....	47
II.2 - Influence de la saison sur la transformation fromagère.....	48
a) Objectif.....	48
b) Protocole.....	48
c) Caractéristiques des troupeaux.....	48
 Deuxième partie : Méthodes d'analyse.....	50
I - Origine des laits analysés.....	50
II - Composition chimique des laits.....	51
II.1 - Taux protéique, Taux butyreux, Dénombrement leucocytaire.....	51
II.2 - Teneur en matière sèche.....	51
II.3 - Nature et teneur des matières azotées.....	51
II.4 - Séparation et dosage des différentes fractions protéiques.....	52
II.4.1 - Préparation des échantillons.....	52
II.4.2 - Dosage des caséines.....	53
II.4.3 - Dosage des protéines du lactosérum.....	53
II.5 - Teneurs en minéraux.....	53
II.5.1 - Calcium et Sodium.....	54
II.5.2 - Phosphore.....	54
III - Paramètres physiques.....	54
III.1 - pH.....	54
III.2 - Taille micellaire.....	54
a) Principe.....	54
b) Méthode.....	55
IV - Paramètres technologiques.....	55
IV.1 - Principe.....	55
IV.2 - Méthode.....	55
V - Transformation fromagère des laits.....	56
V.1 - Transformations "grandeur réelle" en industrie.....	56
a) Protocole de transformation.....	56
b) Paramètres mesurés.....	57
V.2 - Fabrications pilotes.....	57
a) Protocole de transformation.....	57
b) Paramètres mesurés.....	58
V.3 - Mesures de composition chimique du lactosérum et des fromages fabriqués.....	58
V.3.1 - Teneur en matière sèche.....	58
V.3.2 - Teneur en azote.....	58
a) lactosérum.....	58
b) Fromage.....	59
V.3.3 - Teneur en matière grasse.....	59

Troisième partie : Traitement et analyse statistique des données.....	60
I - Influence des facteurs zootechniques sur les caractéristiques physicochimiques et technologiques des laits.....	60
I.1 - Modifications de l'apport énergétique.....	60
I.2 - Tri des vaches laitières sur le TP.....	60
I.3 - Hiérarchisation des facteurs zootechniques.....	61
I.3.1 - Laits de mélange.....	61
I.3.2 - Laits individuels.....	61
II - Relations entre les caractéristiques physicochimiques et technologiques des laits.....	62
II.1 - Indépendance des données.....	62
II.2 - Corrélations établies 2 à 2 entre les caractéristiques physico-chimiques et technologiques.....	63
II.3 - Influence du TP et de ses variations sur la nature des protéines du lait.....	63
II.3.1 - Influence du TP sur la nature des protéines du lait.....	63
II.3.2 - Influence des variations du TP sur la nature des protéines du lait.....	63
III - Explication des variations de rendement fromager à partir des paramètres de composition du lait.....	64
III.1 - Influence du niveau du TP sur la transformation fromagère.....	64
III.2 - Influence de la saison sur la transformation fromagère.....	64

RESULTATS - DISCUSSION

Première partie : Influence des facteurs zootechniques sur les caractéristiques physicochimiques et technologiques des laits.....	65
I - Modifications de l'apport énergétique.....	65
I.1 - Essais préliminaires.....	65
I.1.1 - Influence des modifications de l'apport énergétique sur les teneurs en protéines.....	65
a) Période 1: Hiver.....	65
b) Période 2: Fin d'hiver.....	66
c) Période 3: Mise à l'herbe.....	67
d) Période 4: Pâturage d'été.....	68
I.1.2 - Influence des modifications de l'apport énergétique sur les proportions des différentes caséines et protéines du lactosérum.....	68
I.1.3 - Conclusion.....	69
I.2 - Maîtrise de l'apport énergétique.....	69
I.2.1 - Ajustement des rations aux recommandations INRA.....	69
I.2.2 - Apport supplémentaire de 2,5 kg de concentré.....	71
I.2.3 - Conclusion.....	72
II - Effet de la sélection	
tri des VL sur la valeur du TP.....	72
II.1 - Résultats.....	72
II.2 - Facteurs de variabilité des écarts de TP.....	73

III - Influence des différents facteurs de production.....	74
III.1 - Evolution dans le temps des teneurs en protéines, des paramètres technologiques et du rendement fromager des laits.....	74
III.2 - Facteurs zootechniques influençant le TP.....	75
III.2.1 - Essais préliminaires.....	75
III.2.2 - Essais "maîtrise de l'apport énergétique".....	76
III.3 - Hiérarchisation des facteurs zootechniques explicatifs du TP.....	77
III.3.1 - Laits de mélange.....	77
III.3.2 - Laits individuels.....	79
IV - CONCLUSION.....	81

Deuxième partie : Relations entre les caractéristiques physicochimiques et technologiques des laits.....83

I - Indépendance des données.....	83
II - Correlations établies 2 à 2 entre les caractéristiques physico-chimiques et technologiques des laits.....	83
II.1 - Description de la population.....	83
II.2 - Teneurs en azote et en protéines.....	84
a) Taux protéique.....	84
b) Teneur en azote protéique.....	84
c) Teneur en azote non protéique.....	84
d) Teneur en azote soluble à pH 4,6.....	85
e) Teneur en azote des protéines du lactosérum.....	85
f) Teneur en azote caséique.....	85
II.3 - Pourcentages des différentes caséines et protéines du lactosérum.....	85
a) Pourcentage d'aS-CN.....	86
b) Pourcentage de b-CN.....	86
c) Pourcentage de gK-CN.....	87
d) Pourcentage d'alphalactalbumine.....	87
e) Pourcentage de betalactoglobuline.....	87
II.4 - Teneurs des différentes caséines et protéines du lactosérum.....	87
a) Teneur en aS-CN.....	88
b) Teneur en b-CN.....	88
c) Teneur en gK-CN.....	88
d) Teneur en betalactoglobuline.....	88
II.5 - Paramètres physiques.....	89
a) pH.....	89
b) Taille micellaire.....	89
II.6 - Paramètres technologiques.....	89
a) Temps de coagulation.....	89
b) Temps d'obtention de la fermeté standard.....	90
II.7 - Conclusion.....	90
III - Influence du TP et de ses variations sur la nature des protéines du lait.....	91
III.1 - Influence du TP sur la nature des protéines du lait.....	91
III.1.1 - Résultats.....	91
a) Classes de TP et proportions en caséines.....	92
b) Classes de TP et proportions en PLS.....	92
III.1.2 - Discussion.....	93

III.2 - Influence des variations du TP sur la nature des protéines du lait.....	94
III.3 - Conclusion	95
Troisième partie : Influence des teneurs en protéines et de la saison sur la transformation fromagère en pâte molle.....	96
I - Influence du niveau du TP sur la transformation fromagère	96
I.1 - Caractéristiques des laits transformés.....	96
I.2 - Caractéristiques des transformations et des fromages fabriqués.....	96
I.3 - Explication du rendement fromager à partir des teneurs en protéines et du taux butyreux.....	97
I.3.1 - Rendement fromager J+1.....	97
I.3.2 - Rendement fromager J+3.....	98
I.3.3 - Rendement fromager J + 10.....	98
I.4 - Explication du rendement fromager à partir des paramètres technologiques et de composition chimique.....	99
I.4.1 - Rendement fromager J + 1.....	99
I.4.2 - Rendement fromager J + 3.....	99
I.4.3 - Rendement fromager J + 10.....	100
I.5 - Discussion.....	100
I.5.1 - Explication du rendement à partir des paramètres de composition chimique	100
a) Rendement frais.....	100
b) Rendement sec.....	101
I.5.2 - Explication du rendement à partir des paramètres technologiques et de composition chimique.....	101
a) Rendement frais.....	101
b) Rendement sec.....	102
II - Influence de la saison sur la transformation fromagère.....	102
II.1 - Caractéristiques des laits transformés.....	102
II.1.1 - Effet élevage.....	102
II.1.2 - Effet saison.....	103
II.2 - Caractéristiques des transformations et des fromages fabriqués.....	104
II.2.1 - Effet élevage.....	104
II.2.2 - Effet saison.....	104
II.2.3 - Discussion.....	104
a) Rendement fromager J+1.....	105
b) Rendement fromager J+10.....	105
II.3 - Corrélations entre caractéristiques physicochimiques et technologiques des laits et rendement fromager.....	105
II.3.1 - Rendement fromager J+1.....	105
II.3.2 - Rendement fromager J+3.....	106
II.3.3 - Rendement fromager J+10.....	106
III.4 - Discussion - Conclusion.....	106
III - Conclusion.....	108

Conclusion générale.....109
Références bibliographiques.....114
Annexes125
Summary

RESUME

Afin d'améliorer le TP, deux types d'intervention, niveau des apports énergétiques et tri des animaux, ont été réalisés en élevages. Leur influence sur les caractéristiques physicochimiques et technologiques des laits de troupeau a été mesurée, la qualité fromagère et l'aptitude à la transformation caractérisées. Des transformations fromagères pilotes de type pâte molle ont été réalisées afin de quantifier l'influence des variations du TP et des différentes protéines sur le rendement fromager et de caractériser l'effet de la saison.

*à l'avenir
guère
préférais
synthèse
des W.*

L'amélioration des apports énergétiques augmente le TP (0,2 à 0,9 g/kg), le taux de caséines dans un essai (0,6 à 0,8 g/kg) et le rendement fromager mesuré en industrie (0,1 à 0,6 kg/100kg de lait). Dans un essai, le pourcentage de caséines dans les protéines totales n'est pas modifié; dans l'autre, les variations de l'azote protéique et de l'azote caséique ne sont pas liées, les variations du nombre caséique ne semblent pas liées au niveau d'apports énergétiques. La modification des apports énergétiques n'influence pas les proportions relatives des différentes caséines et protéines du lactosérum.

taux ?

L'élimination de 10% des multipares aux plus faibles taux améliore le TP du troupeau (0,2 g/kg) mais réduit la production laitière (- 0,3 kg/VL/j). *sur en Q de prof...*

ooo

Des régressions linéaires multiples ont permis de chiffrer le poids des principaux facteurs zootechniques influant sur le TP, soit par ordre d'importance décroissante le bilan énergétique (+0,45 g/kg de TP par UFL supplémentaire), le potentiel génétique taux (+1,38 g/kg de TP par point d'ITMMU supplémentaire) et le stade de lactation (+ 0,6 g/kg par mois de lactation dans la phase descendante).

oooo
sc
x x

La qualité fromagère des laits peut être caractérisée à partir des critères de composition physicochimique. Les laits de troupeau à pH et taille micellaire faibles coagulent rapidement. Les laits atteignant rapidement la fermeté standard présentent des teneurs en calcium élevées et en sodium faibles et coagulent rapidement.

Pour des laits de mélange à différents TP, la proportion des caséines dans les protéines totales ne varie pas en fonction du TP. Par contre les proportions de γ K-CN ($p < 0,01$) et d' α la ($p < 0,5$) augmentent avec le niveau de TP, les proportions d' α S-CN ($p < 0,1$) et de β lgA ($p < 0,01$) diminuent. Par ailleurs, à l'intérieur d'un troupeau, lorsque le TP du lait

varie, la part prise par les caséines et les protéines du lactosérum dans ces variations est modifiée. Toute variation intratroupeau du TP serait accompagnée d'une augmentation relative du pourcentage de caséines.

En fabrications pilotes de type pâte molle réalisées à partir de lait standardisé en M.G., les meilleures prédictions du rendement fromager frais mesuré 1 ou 3 jours après transformation (J+1 ou J+3) sont établies à partir du K_{20} et de la teneur en protéines ($r^2 = 0,86$ ou $r^2 = 0,89$ respectivement). Le rendement frais mesuré 10 jours après transformation (J+10) est prédit au mieux à partir de la teneur en protéines et du taux butyreux ($r^2 = 0,86$). A l'inverse, le rendement sec est expliqué au mieux par la teneur en protéines et le taux butyreux à J+1 et J+3 ($r^2 = 0,71$ pour les 2 jours de mesure) et par le K_{20} à J+10 ($r^2 = 0,86$).

La prise en compte de la teneur en caséines au lieu de la teneur en protéines n'améliore généralement pas les prédictions du rendement. La teneur en β -CN explique une part importante des variations du rendement frais ($r^2 > 0,63$).

Ainsi, pour des laits de troupeau dont la teneur en protéines varie entre 28,6 et 32,8 g/l et le taux butyreux entre 24,5 et 28,8 g/l, l'augmentation de la teneur en protéines d'1 g/l permet d'améliorer le rendement fromager frais mesuré à J+10 de 0,3 kg /100 kg de lait (+2,2%) et le rendement sec de 0,08 kg/100 kg (+1,4%).

Les laits de fin d'hiver présentent des variations de rendement fromager importantes. Les fromages obtenus sont caractérisés par une variabilité importante de leur teneur en M.S. La teneur en protéines et le taux butyreux ne suffisent pas à expliquer les variations de rendement, hormis à J+10 pour le rendement sec. D'autres paramètres (pourcentages d' α S-CN et de β -CN, pH et taille micellaire) interviennent. Les variations de composition physicochimique des laits et de rendement fromager à cette période semblent difficiles à relier à des facteurs zootechniques.

INTRODUCTION GENERALE

La transformation fromagère est un des principaux atouts de la filière laitière en Lorraine. En 1988, les livraisons de la région ont représenté 5,3 % des livraisons françaises alors que 10,1 % de la production nationale de fromages de lait de vaches y était réalisée. (CNIEL, 1989). Malgré la carence en mesures de rendement (changements de technologie de transformation et de produits fabriqués), la majorité des transformateurs lorrains estiment que les rendements fromagers ont chuté sur les dernières années (GRILLON, 1987).

Ces chutes de rendement fromager sont pour partie attribuées par ces mêmes industriels à une diminution du taux protéique des laits collectés. Pourtant, la baisse des TP mesurés par les trois laboratoires interprofessionnels de Lorraine est faible sur les dix dernières années. L'écart entre les années 1977 à 1979 et les années 1987 à 1989 n'est que de -0,1 g/l.

Malgré ces constatations contradictoires, les industriels laitiers souhaitent disposer d'une matière première présentant la meilleure aptitude à la transformation afin d'assurer de bons rendements fromagers et des produits de qualité stable à la consommation.

Au niveau de la production, et en période de contingentement de la production, l'un des moyens pour l'éleveur d'améliorer son revenu est d'assurer la livraison d'un lait de qualité, notamment d'un lait riche en protéines. L'écart de paiement entre le gramme différentiel de TP et le gramme différentiel de TB ne cesse de s'accroître au profit du TP, reflétant ainsi les besoins de l'industrie.

C'est dans ce contexte que ce travail a été initié, dans le cadre d'une convention Industrie-Recherche, concrétisée sous la forme d'une bourse Cifre. L'objet général, défini comme l'étude des possibilités d'amélioration de la qualité fromagère des laits en élevages, peut être partagé en deux questions principales :

- Comment caractériser la qualité fromagère d'un lait ?
- Comment l'améliorer au niveau de la production ?

Nombreux sont les paramètres pouvant permettre d'estimer la qualité fromagère du lait, soit qu'ils aient un rôle propre dans le processus de transformation du lait en fromage (paramètres de composition physico-chimique), soit qu'ils permettent de mesurer une des étapes de cette transformation. Les relations entre ces différents paramètres ont déjà été étudiées afin d'essayer de mettre en évidence les paramètres dominants ou les plus

significatifs. Mais jusqu'à présent cette quête du paramètre ou de l'ensemble de paramètres permettant d'estimer le rendement fromager obtenu en fin de fabrication reste perfectible.

L'aptitude fromagère d'un lait peut également être estimée à partir de la mesure directe du rendement fromager. De nombreux auteurs se sont intéressés à la prédiction du rendement fromager à partir des paramètres de composition physicochimique, principalement en pâte pressée. De plus, la prise en compte des paramètres de composition physicochimique s'est souvent limitée au taux butyreux et aux teneurs en protéines totales ou caséines totales, sans considérer les différentes caséines.

eu L Au niveau de la production, les différents facteurs zootechniques influant sur le taux protéique du lait sont bien connus mais leur influence sur les teneurs des différentes protéines, les paramètres technologiques et le rendement fromager a été nettement moins étudiée. D'autre part, peu d'études ont permis d'étudier l'influence simultanée de ces facteurs et de hiérarchiser leurs effets.

Ce travail fait dans une première partie la synthèse des données bibliographiques correspondant aux deux thèmes principaux de l'étude:

- * Influence des composants physicochimiques du lait sur les paramètres technologiques et le rendement fromager.

- * Influence des facteurs zootechniques sur les variations de composition physicochimique, des paramètres technologiques et du rendement fromager des laits.

Il aborde ensuite une série de propositions permettant de préciser les objectifs de ce travail :

- 1) Mesurer l'influence de deux facteurs zootechniques facilement modifiables à court terme en élevages (alimentation et sélection des VL) sur les teneurs des différentes protéines et sur les caractéristiques technologiques de laits de mélange.

- 2) Hiérarchiser et quantifier l'influence des principaux facteurs zootechniques sur le TP des laits de troupeau.

- 3) Caractériser au mieux l'aptitude fromagère des laits de mélange et notamment leur composition en protéines.

- 4) Etudier en fabrication de type pâte molle l'influence du TP et des différentes protéines du lait d'une part, de la saison d'autre part, sur le rendement fromager.

Les laits de mélange transformés en industrie présentent une variabilité de caractéristiques physicochimiques et technologiques nettement moindre que les laits individuels. Compte tenu de l'objectif industriel de ce travail, les laits étudiés ont été des laits de mélange, constitués au niveau du troupeau ou de plusieurs troupeaux.

BIBLIOGRAPHIE

INTRODUCTION

Il est bien admis que les matières azotées du lait, et essentiellement les matières protéiques, constituent la matière première principale en transformation fromagère. Les matières azotées du lait sont nombreuses et leur rôle en transformation fromagère varie suivant leur nature. Il est apparu utile dans la première partie de cette synthèse bibliographique de rappeler quels sont les principaux constituants azotés du lait et de quantifier leur importance en transformation fromagère. Pour cela, il est nécessaire de définir les différents paramètres permettant de caractériser " l'aptitude fromagère " des laits, puis à partir de la synthèse des données concernant l'effet des principaux composants physicochimiques sur l'aptitude fromagère des laits, de préciser l'effet propre des différentes fractions protéiques.

Par ailleurs, les facteurs zootechniques de variation des caractéristiques physicochimiques et technologiques des laits sont nombreux et peuvent se répartir en deux groupes :

- les facteurs de variation qui ne peuvent être modifiés pour un animal donné : ce sont les facteurs génétiques et physiologiques assimilés aux facteurs propres à l'animal.
- les facteurs de variation liés aux conditions d'élevage tels que la saison, le climat, les conditions sanitaires des élevages, et enfin l'alimentation.

De nombreux travaux scientifiques ont porté sur l'étude de l'influence d'un ou plusieurs facteurs sur les teneurs en protéines du lait et principalement sur la teneur en protéines totales. La deuxième partie de cette synthèse bibliographique cherchera à quantifier l'influence de ces différents facteurs sur les fractions protéiques et, quand cela est possible, sur les paramètres permettant d'estimer la valeur fromagère des laits.

PREMIERE PARTIE

MATIERES AZOTEES ET TRANSFORMATION FROMAGERE DU LAIT

En plus des auteurs qui seront cités dans ce chapitre, les ouvrages de VEISSEYRE (1975) et ALAIS (1984) ont souvent été sollicités pour la rédaction de cette première partie.

I - Composition des matières azotées totales

Les matières azotées présentes dans le lait de vache sont multiples et de composition variable. Elles sont généralement partagées en deux fractions :

- la fraction protéique qui représente la partie majeure des matières azotées du lait.
- la fraction azotée non protéique (ANP), quantitativement peu importante : 5 % de l'azote du lait. L'urée en est le constituant principal et représente environ la moitié de l'ANP mais sa concentration peut varier énormément, notamment pour des échantillons individuels. Parmi les autres constituants figurent acides aminés libres, créatine, acide urique, créatinine et ammoniacque.

Azote protéique :

Constituées de chaînes d'acides aminés réunis par des liaisons peptidiques, les protéines du lait sont séparées en deux groupes : les caséines qui précipitent par acidification du lait à pH 4,6 et les protéines du lactosérum ou protéines solubles. Les protéines représentent de l'ordre de 95 % des matières azotées totales du lait.

I.1 - Caséines

I.1.1 - Composition

Les caséines sont définies comme le groupe de protéines phosphorées qui précipitent à pH 4,6 et à 20 °C ou sous l'action de la présure. Elles représentent de l'ordre

Tableau I.1. Composition des matières azotées du lait
d'après Alais, 1984

	Proportions moyennes	
	g/l	relatives
Matières azotées totales	32	100
I - PROTEINES		
A - Caséines	25	78
a) Caséine alpha S1	9,5	36
b) Caséine alpha S2	2,5	10
c) Caséine bêta	8,5	34
d) Caséine kappa	3,2	13
e) Caséines gamma 1, 2, 3	1,75	7
B - Protéines du lactosérum	5,4	17
B.1. Albumines		
a) Bêta lactoglobuline	2,7	50
b) Alpha lactalbumine	1,2	22
c) Sérum-albumine	0,25	5
B.2. Globulines immunes	0,65	12
B.3. Protéoses-peptones	0,6	10
II - Substances azotées non protéiques	1,6	5

de 78 % des matières azotées totales (MAT) du lait. Rapportées aux protéines totales, elles en représentent 82 % en moyenne (cf tableau I.1).

Les caséines du lait sont constituées de quatre composants majeurs : les caséines αS_1 , αS_2 , β et K. Elles représentent respectivement 36, 10, 34 et 13 % des caséines totales. Un cinquième composant, la fraction γ (en moyenne 7 % des caséines totales) résulte de l'hydrolyse de la β -CN par la plasmine.

Les caséines αS et β présentent un taux de phosphorylation élevé, ce qui leur confère un important pouvoir de fixation du calcium. Dans les conditions de concentration du calcium du lait et à température ambiante, elles sont insolubles. La caséine K est une phosphoglycoprotéine présentant une faible affinité vis à vis du calcium. De ce fait elle reste soluble dans le lait à température ambiante.

I.1.2 - Structure physique

Dans le lait, les caséines sont présentes sous forme de particules sphériques d'un diamètre de 20 à 600 nm : les micelles de caséine. Les micelles sont principalement constituées par les 4 caséines αS_1 - αS_2 - β et K, présentes dans les proportions 3-1-3-1. Ces caséines représentent 88 % de la composition en poids de l'extrait sec. Quelques fractions protéiques mineures, telles que la γ -CN et les fragments C terminaux issus de la dégradation de la β -CN sont également présents dans la micelle de caséine (4 g/100 g). 8 % de l'extrait sec des micelles de caséine est constitué de minéraux : Ca, Mg, Na, K et P (SCHMIDT, 1980).

Les micelles de caséine correspondent à un assemblage de sous unités, appelées submicelles. Les submicelles sont constituées uniquement de caséines, en proportion variable, associées entre elles par des liaisons hydrophobes et électrostatiques. Il est également fort probable que le calcium intervienne pour une part dans ces liaisons établies entre caséines (SCHMIDT, 1980 ; BRULE et LENOIR, 1984). La formation des micelles de caséine à partir des submicelles se ferait par l'intermédiaire de liaisons phosphate de calcium entre les groupements phosphoséryls des caséines αS et β localisés à l'extérieur des submicelles. Ainsi les submicelles riches en K-CN seraient localisées vers l'extérieur de la micelle (LENOIR, 1985). La taille des micelles de caséine résulterait donc de la quantité de phosphate de calcium colloïdal et de la quantité de K-CN présente dans le lait (SCHMIDT, 1980).

Les micelles de caséine sont fortement hydratées : elles contiennent environ 65 % d'eau (BRUNNER, 1981). Cette caractéristique, ainsi que leur charge électrostatique négative, leur confèrent une forte stabilité.

1.2 - Protéines du lactosérum

Appelées également protéines solubles, elles restent en suspension dans le lait à pH 4,6 mais précipitent à pH 3,4. Elles sont constituées d'holoprotéines et de glycoprotéines et représentent en moyenne 17 % des MAT.

Les deux protéines les plus abondantes dans le lactosérum sont la betalactoglobuline et l'alphalactalbumine qui intervient au niveau de la synthèse du lactose. Elles représentent respectivement 50 et 22 % en moyenne des protéines solubles. Outre ces protéines majeures, le lactosérum est également composé de sérumalbumine (5 %), d'immunoglobulines (12 %) et de protéoses peptones (10 %) (cf tableau I.1). Les proportions des différentes protéines du lactosérum sont nettement plus variables que celles des caséines (BRUNNER, 1981). Leur synthèse et leur passage dans le lait varient considérablement en fonction du stade de lactation (colostrum - lait de fin de lactation), de l'état sanitaire de la mamelle (mammite)... (ALAIS, 1984).

Trois des quatre caséines du lait de vache, les caséines αS_1 - β et K, ainsi que la betalactoglobuline, présentent dans toutes les races un polymorphisme génétique, c'est-à-dire plusieurs formes alléliques, ou "variants génétiques" (GROSCLAUDE, 1988). La prise en compte du polymorphisme des principales protéines du lait n'est pas faite dans ce travail. Pour plus d'informations sur les particularités biochimiques de ces variants et leur fréquence dans les races françaises, on pourra se reporter à l'article de synthèse de GROSCLAUDE (1988).

II - Aptitude fromagère du lait

L'aptitude fromagère d'un lait est un concept global qui recouvre diverses caractéristiques du lait :

Le premier critère directement utilisable par le transformateur au plan économique est le rendement fromager, c'est-à-dire le poids de fromage obtenu à partir d'une quantité déterminée de lait. Le rendement fromager peut lui même être défini en kg de produit frais, en kg de produit sec et à différents temps après la transformation.

La mesure du rendement fromager nécessite des expérimentations assez lourdes et coûteuses en matériel et main d'oeuvre. D'autres paramètres, dont l'estimation est plus rapide et nécessite moins d'infrastructure, permettent de caractériser l'aptitude des laits pour l'une ou l'autre des différentes étapes de la transformation fromagère. On mesure ainsi le temps de coagulation, la vitesse d'évolution de la fermeté du caillé... caractéristiques dénommées la plupart du temps "paramètres technologiques".

Enfin, les paramètres de composition chimique, et en particulier de composition azotée, sont parfois utilisés pour prédire la valeur fromagère des laits.

Dans un premier temps nous procéderons à un rappel des différents principes de la transformation fromagère puis nous définirons les paramètres technologiques permettant d'apprécier la qualité fromagère d'un lait. Enfin, nous étudierons les relations entre les composants physicochimiques du lait, notamment les composants azotés, et les paramètres technologiques d'une part, le rendement fromager d'autre part. L'objectif de ce chapitre est de tenter d'établir une revue aussi complète que possible des moyens permettant de prédire la qualité fromagère d'un lait et si possible son rendement fromager à partir des critères de composition physicochimique afin de préciser l'influence de chacun d'entre eux.

II.1 - Principes généraux de la transformation fromagère

La fabrication de la plupart des fromages comporte trois grandes étapes :

- la formation du gel, ou coagulum : c'est le caillage ou la coagulation du lait.
- l'égouttage du coagulum conduisant au caillé.
- l'affinage du caillé qui conduit au fromage.

II.1.1 - La coagulation du lait

Elle correspond à la floculation des micelles de caséine qui s'assemblent pour former un gel compact emprisonnant le lactosérum. On distingue deux types de coagulation : la coagulation lactique qui survient lorsqu'on laisse un lait s'acidifier lentement à température ambiante et la coagulation par la présure qui consiste à ajouter au lait une ou des enzymes protéolytiques permettant de modifier la structure des micelles de caséine et par là même de former un gel. Les enzymes les plus couramment utilisées sont constituées par un mélange

de chymosine et de pepsine dans les proportions 80/20. Ce deuxième type de coagulation, principalement utilisé en fromagerie, sera étudié plus particulièrement.

La coagulation du lait par la présure se divise en deux phases :

- la phase enzymatique :

L'action de la chymosine sur la K-CN scinde cette caséine en deux parties au niveau de la liaison Phe₁₀₅- Met₁₀₆ avec formation du caséinomacropeptide (CMP) qui correspond à la partie C terminale (106-109) et de la paracaséine K, partie N terminale (1-105). La paracaséine K reste associée aux autres caséines au sein des micelles alors que le CMP passe dans la phase aqueuse.

- La phase de coagulation :

La séparation des deux parties de la K-CN s'accompagne d'une déshydratation des micelles de caséine et d'une modification du potentiel électrostatique. Cette hydrolyse de la K-CN permet la formation de liaisons hydrophobes et électrostatiques entre les micelles, qui nécessitent la présence de phosphate de calcium colloïdal pour obtenir un coagulum homogène et rigide (LENOIR et VEISSEYRE, 1987). Le résultat de ces liaisons intermicellaires concourt à la formation d'un réseau tridimensionnel, à mailles très lâches, emprisonnant les matières grasses et le lactosérum, qui constitue le coagulum.

II.1.2 - L'égouttage du coagulum : la formation du caillé

Le coagulum résultant de la formation des liaisons intermicellaires est une structure instable : sous l'influence de nouvelles liaisons s'établissant entre les micelles de caséine ou du renforcement des liaisons existantes, il se produit une rétraction du gel qui s'accompagne de l'expulsion de lactosérum des mailles du réseau : c'est la synérèse. La synérèse dépend avant tout de la structure du gel, elle-même liée à la quantité de présure utilisée. La vitesse de raffermissement du gel et son imperméabilité commandent les modalités ultérieures d'égouttage.

L'égouttage est plus rapide lorsque la température augmente. Celle-ci accélère l'établissement des liaisons intermicellaires, active la fermentation lactique et diminue la viscosité des constituants du caillé (WEBER, 1984).

L'acidification du coagulum favorise l'égouttage en diminuant l'eau d'hydratation des micelles et en favorisant l'établissement des liaisons secondaires entre micelles (WEBER, 1984).

Dans le cas de coagulation par la présure, pour permettre l'expulsion du lactosérum imprégnant le gel, il est nécessaire de faire intervenir des actions mécaniques (découpage,

brassage) afin de détruire la cohésion et la compacité du coagulum. Pour certaines fabrications, l'égouttage peut être complété par un pressage du caillé.

Enfin le salage constitue la dernière étape permettant de drainer une partie du sérum résiduel avant l'affinage. Le salage agit également sur les microorganismes indésirables et sur l'activité des enzymes.

II.1.3 - L'affinage du caillé : le fromage

La plupart des fromages, hormis les pâtes fraîches, subissent après égouttage une maturation biologique plus ou moins prononcée. Cette maturation permet de développer pour chaque type de fromage une saveur particulière mais aussi de lui donner un aspect, une texture et une consistance spécifique.

L'affinage est le résultat global de phénomènes variés : protéolyse, désamination, décarboxylation, lipolyse, fermentation de l'acide lactique...

II.2 - Appréciation de l'aptitude fromagère d'un lait par les paramètres technologiques

L'appréciation de l'aptitude fromagère d'un lait peut se faire par la caractérisation des différentes phases de la transformation du lait en caillé, notamment la coagulation et l'égouttage du coagulum. Ces méthodes ont l'avantage de pouvoir caractériser un lait donné sans aller jusqu'au produit terminé et sont donc plus rapides et moins onéreuses que les mesures de rendement fromager. De plus le rendement fromager n'est pas un critère unique suffisant puisque les technologies varient en fonction des caractéristiques physico-chimiques du lait.

II.2.1 - Paramètres de coagulation

Le début de la coagulation d'un lait se détermine de plusieurs manières : suivant le moyen utilisé pour mesurer cette étape de la transformation du lait, on parlera de temps de floculation : temps nécessaire à l'apparition des premiers flocons lorsqu'on fait s'écouler un lait emprésuré le long d'une paroi, ou de temps de coagulation : temps nécessaire à la formation d'un gel dans un récipient contenant un lait emprésuré (ALAIS, 1984).

II.2.2 - Paramètres de raffermissement du coagulum

La vitesse de raffermissement du gel et sa fermeté maximale sont des critères également pris en compte pour mesurer l'aptitude fromagère d'un lait. La vitesse d'évolution de la fermeté du gel est beaucoup plus variable que le temps de prise (KOWALCHYK et OLSON, 1979 ; ITG, 1984 cités par KERJEAN, 1984 ; QUELEN et KERJEAN, 1987). Elle reste le facteur le plus important pour caractériser l'aptitude fromagère d'un lait : en effet, c'est essentiellement la fermeté du gel au tranchage qui joue sur la suite de la transformation fromagère.

Les méthodes qui permettent de mesurer les caractéristiques du gel sont nombreuses. Parmi les plus courantes, nous pouvons citer :

- la pénétrométrie : mesure de la force ou de la profondeur de pénétration d'un couteau standardisé dans le coagulum.
- la viscosimétrie de torsion : mesure de la force de torsion qui agit entre le lait et un corps suspendu.
- le thrombélastographe et le formagraph : le lait est contenu dans une cuve animée d'un mouvement sinusoïdal dans lequel plonge un cylindre suspendu à un fil. Dans ce cas c'est le cylindre qui joue le rôle de capteur et permet de suivre la résistance du gel à la déformation.
- le torsiomètre de Scott Blair, modifié par Plint : dans ce cas, c'est le cylindre plongeant dans le lait qui est soumis aux oscillations périodiques.

Ces deux dernières méthodes permettent de mesurer la vitesse de raffermissement et la fermeté maximale des gels. Ainsi QUELEN et KERJEAN (1987) utilisent un paramètre correspondant à l'obtention d'une amplitude de 15 mm sur le thrombélastogramme, appelé temps de durcissement ; ALEANDRI et al (1989), MARZIALI et al (1986 b) mesurent une amplitude de 20 mm sur le formagramme, appelé temps d'obtention de la fermeté standard.

II.2.3 - Paramètres d'égouttage

Enfin, la capacité d'un caillé à expulser le sérum contenu dans le réseau peut être appréciée en mesurant le volume de lactosérum écoulé à un temps déterminé après le tranchage ou le moulage du caillé : on établit ainsi une cinétique d'égouttage. GRANDISON et al (1985 b et c) ; STORRY et al (1983) définissent de cette manière un temps de synérèse : temps nécessaire pour recueillir un volume déterminé de lactosérum.

II.2.4 - Paramètres technologiques et rendement fromager

Les paramètres précédemment définis permettent de préciser les caractéristiques fromagères d'un lait : en effet, les caractéristiques rhéologiques du coagulum lors des différentes actions mécaniques qu'il subit (tranchage, brassage, moulage...) ont sans doute d'importantes conséquences sur les pertes de matière dans le sérum (BYNUM et OLSON, 1982 cités par KERJEAN, 1984).

ALEANDRI et al (1989) ont étudié les corrélations entre les paramètres technologiques mesurés au formagraph (T : temps de coagulation, K₂₀ : temps d'obtention d'une fermeté standard du caillé, E₃₀ : fermeté du caillé 30 mn après emprésurage) et les rendements fromagers obtenus en fabrication de parmesan sur 279 laits : seul le paramètre E₃₀ est significativement corrélé au rendement fromager, la relation n'est pas linéaire. Le modèle de prédiction à partir des paramètres technologiques permet d'expliquer environ 60% des variations du rendement fromager alors que celui établi à partir de la composition du lait explique 80 %.

Trouve (1987) explique 30 à 43 % des variations du rendement frais à partir des paramètres technologiques et 30 % à partir des paramètres de composition du lait. L'équation utilisant les deux types de variables permet d'expliquer 77 % des variations du rendement. Parmi les paramètres technologiques, seul le K₂₀ et le A₁₀ (fermeté du gel mesurée 5 mn après la coagulation) sont corrélés significativement au rendement.

Les caractéristiques de raffermissement du gel (vitesse, fermeté), plutôt que le temps de prise, semblent donc être les paramètres technologiques les plus importants pour estimer la qualité fromagère d'un lait. Cependant, les paramètres technologiques ne sont pas suffisants pour estimer le poids de fromage obtenu en fin de transformation. Les paramètres de composition physico-chimique apportent une part d'information importante. L'étude de leur influence sur les paramètres technologiques d'une part et les rendements fromagers d'autre part sera l'objet du paragraphe suivant.

II.3 - Influence de la composition physico-chimique des laits sur leur aptitude fromagère

Les résultats présentés dans cette partie ont été établis sur laits de vache, exceptés ceux de STORRY et al (1983) provenant de vaches, brebis et chèvres.

Tableau I.2 Influence de la teneur en MAT ou en protéines sur les paramètres technologiques

Paramètre technologique	Variable corrélée	Coef. de corrélation	Auteur Année	Nature des laits	Nombre d'échantillons
Temps de coagulation R (min) (1)	MAT (g/l)	-0,48	QUELEN 1987	grand mélange	43
Temps de durcissement (min) (2)	MAT (g/l)	-0,75	QUELEN 1987	grand mélange	43
K 20 (min) (1)	TP (g/l)	-0,28***	TROUVE 1987	individuels	80
	MAT	-0,75	NUYTS 1989	individuels	16
A 30 (mm) (1)	MAT	0,58	NUYTS 1989	individuels	16
Fermeté maximale (3) (mV)	TP (g/l)	0,40**	COSSIN 1988	individuels	48

Seuil de signification : * $\alpha < 0,1$ ** $\alpha < 0,05$ *** $\alpha < 0,01$

Méthodes de mesure :

(1) Paramètres mesurés au formagraph

R : temps de coagulation (min)

A₃₀ : fermeté du caillé mesurée 30 min après emprésurage (mm)

K₂₀ : temps nécessaire pour obtenir un écartement des branches de 20 mm

(2) Mesuré au thrombélastographe

Temps nécessaire pour obtenir un écartement des branches de 15 mm

(3) Paramètres mesurés au torsiomètre de Plint

Vitesse de raffermissement (mV/min) : pente initiale

Fermeté maximale (mV) : ordonnée maximale

II.3.1 - Influence des composants du lait sur les paramètres technologiques

a) Composants protéiques

La plupart des auteurs ayant étudié l'influence des composés protéiques du lait sur les paramètres technologiques se sont prioritairement intéressés aux caséines et parfois aux protéines du lactosérum.

QUELEN et KERJEAN (1987) établissent une corrélation entre la teneur en MAT et le temps de coagulation. Par contre LINDSTROM et al (1984), ainsi que COULON et al (1988 a) n'observent pas de corrélation significative entre la teneur en protéines totales et le temps de coagulation. La dilution du lait avec du lactosérum modifie peu le temps de coagulation, hormis pour des dilutions atteignant un taux de 0,5 (LENOIR et SCHNEID, 1984).

Plus le lait est riche en protéines ou en MAT, plus le caillé est ferme (tableau I.2). Les observations de FROC et al (1988) corroborent ces résultats.

**Influence des caséines*

Peu d'auteurs observent une corrélation significative entre le temps de coagulation et les teneurs en caséines (tableau I.3) et les résultats divergent d'un auteur à l'autre : QUELEN et KERJEAN (1987) mesurent une diminution du temps de coagulation lorsque la teneur en caséines totales augmente mais la corrélation est moins forte qu'avec les matières azotées totales. A l'inverse LENOIR et SCHNEID (1984) observent une tendance à l'augmentation du temps de coagulation lorsque la concentration en caséines s'accroît, mais de faible importance.

STORRY et al (1983) notent une diminution du temps de coagulation avec l'augmentation de la teneur en β -CN et MARZIALI et Ng KWAI HANG (1986 b) avec l'augmentation de la teneur en α S-CN. Par contre HOSSAIN (1976) cité par LENOIR et SCHNEID (1984) observe que le temps de coagulation est plus influencé par la teneur en K-CN ($r=0,91$) que par les teneurs en α S-CN ou β -CN ($r=0,67$ et $r=0,58$ respectivement).

La vitesse de raffermissement du coagulum est corrélée positivement à la teneur en caséines (VERTES et al, 1989 a). Le temps nécessaire pour obtenir une fermeté standard est corrélé négativement à la teneur en caséines et la fermeté du gel ou force du coagulum positivement. Tous les auteurs s'accordent sur ces observations (tableau I.3) et les coefficients de corrélation sont tous significatifs à 5 %.

Tableau I.3 Influence des teneurs en caséines sur les paramètres technologiques

Paramètre technologique	Variable corrélée	Coef. de corrélation	Pente de la droite	Auteur Année	Nature des laits	Nombre d'échantillons	
Temps de coagulation R (min) (1)	Caséines (g/l)	-0,43		QUELEN 1987	grand mélange	43	
	B-CN (%) α S-CN/β-CN	-0,53** 0,54**	-1,96 3,00	STORRY 1983	individuels ou groupes d'animaux	25	
	(1) α S-CN (%)	**	-3,21	MARZIALI 1986b	individuels	31	
Vitesse de raffermissement mPa/s2 (4) mV/min (3)	Caséines (g/kg)	0,8**		VERTES 1989a	mélange	25	
	% K-CN %αS-CN	0,44*** -0,66***		COSSIN 1988	individuels	48	
Temps de durcissement (min) (2)	Caséines (g/l)	-0,68		QUELEN 1987	Grand mélange	43	
K20 (min) (1)	Caséines(%)	**	-3,32	MARZIALI 1986b	individuels	31	
	%αS-CN	**	-4,78				
	% β-CN	**	-5,97				
	% K-CN	**	-8,39				
	% K-CN	-0,45		NUYTS 1989	individuels	60	
A30 (mm) (1)	Caséines(%)	**	8,14	MARZIALI 1986b	individuels	31	
	%α S-CN	**	13,32				
	% β-CN	**	15,96				
	Caséines (g/kg)	+0,49		NUYTS 1989	individuels	60	
Force du caillé (g) (5)	Caséines(%)	0,93***	34,0	STORRY 1983	individuels ou groupes d'animaux	25	
	α S-CN (%)	0,86***	44,4				
	β-CN (%)	0,59***	25,4				
	K-CN (%)	0,74***	118,3				
		Caséines(%)	0,90***	24,2	GRANDISON 1984	individuels début de lactation	36
	α S-CN (%)	0,85***	43,7				
	β-CN (%)	0,61*	39,9				
	K-CN (%)	0,70**	105,0				
		Caséines(%)	0,68***	19,1	GRANDISON 1985b	mélange RG-Trèfle	28
	α S-CN (%)	0,70***	19,3				
	Caséines(%)	0,64**		GRANDISON 1985c	mélange		
α S-CN (%)	0,69**						
Fermeté du gel (g/cm2) (6)	Caséines(g/kg)	0,72**		VERTES 1989a	mélange	25	
	K-CN (%)	0,54**					
Fermeté maximale (mV) (3)	Caséines(g/l)	0,48***		COSSIN 1988	individuels	48	
	%αS-CN	-0,59***					
	% β-CN	0,50***					
Temps de synerèse (min) (7)	Caséines (%)	0,76***	14,6	STORRY 1983	individuels ou groupes d'animaux	25	
	α S-CN (%)	0,83***	22,2				
	K-CN (%)	0,62***	51,4				
		K-CN (%)	-0,61***	-71,6	GRANDISON 1985b	mélange RG-Trèfle	28

Seuil de signification : * α < 0,1 ** α < 0,05 *** α < 0,01

Méthodes de mesure : (1) (2) (3) cf. Tableau I.2.

(4) Mesurée à l'aide d'un visosimètre Rhéomat 30 (6) Pénétrömètre-analyseur de consistance de Stevens

(5)-(6) Mesuré à l'aide d'un pénétromètre

(7) Temps de synerèse : temps nécessaire pour que 40% du volume initial du lait se soit égoutté

L'influence prépondérante d'une des caséines sur le raffermissement du coagulum est controversée : STORRY et al (1983) et GRANDISON et al (1984, 1985 b et c) observent des coefficients de corrélation supérieurs avec la caséine α S par rapport aux autres caséines. GRANDISON et al (1984) estiment que l' α S-CN pourrait avoir un rôle structurel propre dans la formation du coagulum, mais aussi mieux refléter l'effet du taux de caséines totales puisqu'elle est la caséine la plus fortement liée au taux de caséines totales.

Par contre, COSSIN (1988) note une corrélation négative entre la fermeté du gel, sa vitesse de raffermissement et la proportion d' α S-CN : l'auteur souligne son aspect inattendu et émet l'hypothèse que le pourcentage d' α S-CN agit par l'intermédiaire de sa corrélation avec la teneur en caséines (corrélation négative).

VERTES et al (1989 a) mesurent une corrélation positive entre teneur en K-CN et fermeté du gel et NUYTS et al (1989) calculent une corrélation négative entre pourcentage de K-CN et K_{20} . COSSIN (1988) obtient une corrélation positive entre vitesse de raffermissement et pourcentage de K-CN, alors que c'est le pourcentage de β -CN qui apparaît lié positivement à la fermeté maximale du gel.

Pour OKIGBO et al (1985 b), des laits à faible aptitude à la coagulation présentent un pourcentage de β -CN nettement plus faible et un pourcentage de γ -CN et caséines dégradées beaucoup plus élevé que des laits présentant de bonnes aptitudes à la coagulation; les pourcentages d' α S-CN et K-CN sont également plus faibles mais la diminution est moindre. Dans cette comparaison, qui porte uniquement sur 9 échantillons, les laits à coagulation difficile sont des laits de fin de lactation. Outre les variations de composition protéique, les variations des autres caractéristiques physicochimiques des laits de fin de lactation expliquent sans doute une partie des difficultés de coagulation.

Seuls STORRY et al (1983) et GRANDISON et al (1985 b) ont étudié la relation entre le temps de synérèse et la composition protéique des laits : STORRY observe une augmentation du temps de synérèse avec l'augmentation de la teneur en caséines mais celle-ci est accompagnée d'une élévation simultanée du taux de M.G. : l'augmentation du temps de synérèse est d'ailleurs comparable à celle mesurée lorsque seul le taux de M.G. varie. Pour GRANDISON (1985 b), le temps de synérèse est corrélé négativement à la concentration en K-CN.

* Influence des protéines du lactosérum

Le temps de coagulation augmente avec la concentration en protéines du lactosérum, que ce soit pour des laits individuels de début de lactation (GRANDISON et al, 1984) ou pour des laits de mélange (GRANDISON et al, 1985 c) (tableau I.4).

Tableau I.4 Influence des teneurs en protéines du lactosérum sur les paramètres technologiques

Paramètre technologique	Variable corrélée	Coef. de corrélation	Pente de la droite	Auteur Année	Nature des laits	Nombre d'échantillons
Temps de coagulation (min) (1)	PLS (%)	0,50**	9,79	GRANDISON 1984	individuels début de lactation	36
	PLS (%)	0,42*		GRANDISON 1985c	mélange	
Force du caillé (g) (5)	β lg (%)	0,43*	132	STORRY 1983	individuels ou groupes d'animaux	25
	α la (%)	0,95***	687			
K20 (min) (1)	PLS (%) (g/kg)	0,40*	24	GRANDISON 1985b	mélange RG.Trèfle	28
	α la (%)	**	-22,2	MARZIALI 1986b	individuels	31
A30 (min) (1)	α la (%)	**	40,4	MARZIALI 1986b	individuels	31
Temps de synérèse (min) (7)	β lg (%)	0,63***	101	STORRY 1983	individuels ou groupes d'animaux	25
	α la (%)	0,57**	215			

Seuil de signification : * $\alpha < 0,1$ ** $\alpha < 0,05$ *** $\alpha < 0,01$

Méthodes de mesure : cf. Tableaux I.2. et 1.3

Tableau I.5 Influence de la teneur en matière grasse sur les paramètres technologiques

Paramètre technologique	Variable corrélée	Coef. de corrélation	Pente de la droite	Auteur Année	Nature des laits	Nombre d'échantillons
K20 (1)	MG	-0,66		NUYTS 1989	individuels	16
A30 (1)	MG	0,52		NUYTS 1989	individuels	16
Force du caillé (g) (5)	MG (%)	0,58**	13,3	STORRY 1983	individuels ou groupes d'animaux	25
		0,54***	4,84	GRANDISON 1984	individuels début de lactation	36
Temps de synerèse (min) (7)	MG (%)	0,53***	6,4	STORRY 1983	individuels ou groupes d'animaux	25
		0,56***	6,13	GRANDISON 1984	individuels début de lactation	36
		0,80**	5,45	GRANDISON 1985b	mélange RG Trèfle	28

Seuil de signification : * $\alpha < 0,1$ ** $\alpha < 0,05$ *** $\alpha < 0,01$

Méthodes de mesure : cf. Tableaux I.2. et 1.3.

La teneur en protéines du lactosérum a un effet favorable sur la fermeté du coagulum (GRANDISON et al, 1985 b). L' α la serait principalement responsable de cette augmentation de la fermeté (STORRY et al, 1983 ; MARZIALI et Ng KWAI HANG, 1986 b) (tableau I.4). STORRY émet l'hypothèse que cette corrélation positive avec la teneur en α la résulte de l'effet indirect de la teneur en caséines, ces deux paramètres étant fortement corrélés dans l'essai étudié. D'ailleurs, lors de l'addition d' α la pure dans les laits, le temps de coagulation augmente et la force du caillé diminue, notamment lorsqu'on atteint de fortes concentrations (STORRY et al, 1983).

Le temps de synérèse augmente avec l'élévation de la concentration en α la et en β lg (STORRY, 1983).

b) Matière grasse

La teneur en M.G. du lait améliore la fermeté du caillé (STORRY et al, 1983 ; GRANDISON et al, 1984 ; NUYTS et VASSAL, 1989) mais les coefficients de corrélation sont plus faibles que ceux établis avec les teneurs en protéines ou en caséines (tableau I.5).

Le temps de synérèse augmente significativement avec la teneur en M.G. . Pour STORRY et al (1983) cet accroissement est de 70 % pour des laits dont la teneur en M.G. augmente de 0,24 % à 7,24 %, pour des teneurs en protéines totales, caséines et minéraux constantes.

c) Minéraux

Le temps de coagulation diminue avec l'augmentation des teneurs en P_i , K et Ca total (STORRY et al, 1983 ; GRANDISON et al, 1984, 1985 b et c, MOCQUOT et al, 1954 cités par LENOIR et VEISSEYRE, 1987 ; QUELEN et KERJEAN, 1987) (tableau I.6). Néanmoins ces corrélations ne sont pas systématiquement établies.

La distribution du calcium entre la phase colloïdale et la phase soluble joue un rôle important dans le phénomène de coagulation. La teneur en phosphate de calcium colloïdal paraît être le facteur déterminant de l'aptitude à la coagulation du lait (LENOIR et SCHNEID, 1984). GRANDISON et al (1984) suggèrent que la teneur en P_i reflète mieux la concentration en phosphate de calcium colloïdal que la teneur en Ca. L'existence d'une corrélation temps de coagulation - P_i et l'absence de corrélation temps de coagulation - Ca pourraient ainsi refléter le rôle du phosphate de calcium colloïdal. COSSIN (1988) relève l'influence prédominante de la teneur en calcium ionisé, ce qui tendrait à montrer que le facteur limitant de la vitesse de la réaction globale est la phase d'agrégation.

**Tableau I.6 Influence de la composition minérale des laits
sur les paramètres technologiques**

Paramètre technologique	Variable corrélée	Coef. de corrélation	Pente de la droite	Auteur Année	Nature des laits	Nombre d'échantillons	
Temps de coagulation (min)	Ca (%)	-0,40*	-44,3	STORRY 1983	individuels ou groupes d'animaux	25	
	Pi (%)	-0,43*	-102	GRANDISON 1984	individuels début de lactation	36	
	Na (%)	0,56***	+ 319				
	K (%)	-0,55***	-210				
	Pi (%)	-0,42	-625	GRANDISON 1985b	mélange RG Trèfle	28	
R (min) (1)	Ca (g/l)	-0,75		QUELEN 1987	grand mélange	43	
	Na (mg/l)	+0,80***		SCHEER 1988	grand mélange	58	
Temps de prise (mn) (8)	Ca soluble (mg/l)	-0,34**		COSSIN 1988	individuels	48	
	Ca ionique (mg/l)	-0,44**					
Temps de durcissement (min) (2)	Ca (g/l)	-0,75		QUELEN 1987	grand mélange	43	
K20 (min) (1)	Ca (mg/l)	- ***		SCHEER 1988	grand mélange	58	
Amax (mm) (1)	Ca caséinique (mg/l)	+0,40***		SCHEER 1988	grand mélange	58	
Force du caillé (g) (5)	Pi (%)	0,75***	0,11	STORRY 1983	individuels ou groupes d'animaux	25	
	Ca (%)	0,84***	1057				
	Mg (%)	0,70***	6590				
		Pi (%)	0,79***	632	GRANDISON 1984	individuels début de lactation	36
		Ca (%)	0,72***	758			
		Mg (%)	0,81***	6922			
		Pi (%)	0,75***	1165	GRANDISON 1985b	mélange RG-Trèfle	28
		Pi (%)	0,47*		GRANDISON 1985c	mélange	
Temps de synérèse (min) (7)	Pi	0,53***	0,04	STORRY 1983	individuels ou groupes d'animaux	25	
	Ca	0,55**	362				
	Mg	0,61**	2990				
		Ca	0,48**	608	GRANDISON 1984	individuels début de lactation	36
	K	0,58**		GRANDISON 1985c	mélange		

Seuil de signification : * $\alpha < 0,1$ ** $\alpha < 0,05$ *** $\alpha < 0,01$

Méthodes de mesure :

(1) (2) (3) (4) (5) (6) (7) : cf. Tableaux I.2 et I.3.

(8) Temps de prise : apparition des premiers flocons à l'oeil nu

Tableau I.7. Influence du pH sur les paramètres technologiques

Paramètre technologique	Variable corrélée	Coef. de corrélation	Auteur Année	Nature des laits	Nombre d'échantillons
Temps de coagulation (min)	pH	-0,50*	GRANDISON 1985c	mélange	
R (min) (1)	pH	0,58***	OKIGBO 1985a	individuels	387
		0,48***	TROUVE 1987	individuels	80
		0,59	SCHEER 1988	individuels	100
		0,51	NUYTS et VASSAL 1989	individuels	16
		0,67	NUYTS et al 1989	individuels	60
K20 (min) (1)	pH	0,28*	TROUVE 1987	individuels	80
A10 (mm) (1)	pH	-0,43***	TROUVE 1987	individuels	80
A30 (mm) (1)	pH	-0,53***	OKIGBO 1985a	individuels	387
Force du caillé (g) (5)	pH	0,51	GRANDISON 1985c	mélange	
Temps de synérèse (min) (7)	pH	0,65***	GRANDISON 1985b	mélange RG Trèfle	28

Seuil de signification : * $\alpha < 0,1$ ** $\alpha < 0,05$ *** $\alpha < 0,01$

Méthodes de mesure : cf. Tableaux I.2. et 1.3.

GRANDISON et al (1984) et SCHEER (1988) signalent une corrélation positive entre la teneur en sodium et le temps de coagulation.

La fermeté du coagulum est améliorée par l'augmentation des teneurs en Ca, P_i et Mg (tableau I.6). JEN et ASHWORTH (1970) ; KOWALCHYK et OLSON (1979) cités par QUELEN et KERJEAN (1987) notent une influence plus forte de la teneur en calcium sur le temps de coagulation que sur le raffermissement du gel. Dans les essais présentés dans le tableau I.6, les coefficients de corrélation sont plus importants entre force du coagulum et teneur en Ca qu'entre temps de coagulation et teneur en Ca, pour les laits individuels comme pour les laits de mélange.

Le calcium intervient dans la formation des liaisons intermicellaires après action de la présure et donc agit essentiellement sur la phase secondaire de la coagulation du lait (BRULE et LENOIR, 1984 ; WEBER, 1984). La synérèse correspondant en partie au renforcement des liaisons intermicellaires, elle se trouve également liée au nombre de liaisons calcium établies (WEBER, 1984). Ainsi la teneur en calcium intervient à la fois au niveau de la coagulation du lait et du raffermissement du gel (LENOIR et SCHNEID, 1984) et il semble difficile d'expliquer les différences de corrélation avec l'un ou l'autre de ces paramètres.

Le temps de synérèse augmente avec la teneur en Ca (STORRY et al, 1983 ; GRANDISON et al, 1984), la teneur en K (GRANDISON et al, 1985 c) et les teneurs en P_i et Mg (STORRY et al, 1983). Mais les corrélations ne sont pas systématiques et il convient de rester prudent quant à leur interprétation.

d) Caractéristiques physiques du lait

** pH*

Les résultats de GRANDISON (1985 c) mis à part, l'ensemble des auteurs s'accorde sur la diminution du temps de coagulation et la formation d'un gel plus ferme avec l'abaissement du pH (tableau I.7).

** Taille micellaire*

Le temps de coagulation augmente et la fermeté du caillé diminue avec l'accroissement de la taille micellaire moyenne (GRANDISON, 1986 b ; WAGNER-NIELSEN et al, 1982 cités par LENOIR et VEISSEYRE, 1987 ; SCHEER, 1988 ; NUYTS et al, 1989) (tableau I.8).

Tableau I.8. Influence de la taille micellaire sur les paramètres technologiques

Paramètre technologique	Variable corrélée	Coef. de corrélation	Auteur Année	Nature des laits	Nombre d'échantillons
Temps de coagulation R (min)	Taille micellaire (nm)	+ ***	SCHEER 1988	grand mélange	58
	Taille micellaire (nm)	+ ***	SCHEER 1988	individuels	100
K20 (min)	Taille micellaire (nm)	+ 0,47	NUYTS et al 1989	individuels	60
A30 (mm)	Taille micellaire (nm)	-0,44	NUYTS et al 1989	individuels	60
Amax (mm)	Taille micellaire (nm)	- ***	SCHEER 1988	grand mélange	58

Seuil de signification : *** $\alpha < 0,01$

Wagner Nielsen et al. (1982)

	Petites micelles	Micelles moyennes	Grandes micelles
Taille micellaire (nm)	55	94	172
Temps de coagulation à 30°C (min)	7,8	9,0	11,4
Longueur relative des phases	I	0,90	1,00
	II	0,72	1,00

Grandison (1986b)

	Petites micelles	Grandes micelles
Taille micellaire (nm)	125-250	250-350
Temps de coagulation (min)	18,6	19,7
Force du coagulum (g) (5)	4,85	3,5
Temps de synérèse (min) (7)	20,4	20,8

Méthodes de mesure : cf. Tableaux I.2. et I.3.

Cet effet de la taille micellaire peut dépendre de la composition des micelles de caséine, notamment de la proportion relative de K-CN, plus élevée dans les petites micelles, et de la teneur en phosphate de calcium colloïdal, plus faible dans les petites micelles.

c) Conclusion

La teneur en protéines du lait, et surtout la teneur en caséines, améliore la fermeté des gels obtenus par coagulation à la présure, caractéristique technologique d'un lait capitale pour apprécier sa "qualité fromagère". Leur influence sur le temps de coagulation est de faible importance. L'hétérogénéité des résultats entre auteurs ne permet pas de conclure quant à la prédominance d'une des caséines.

La matière grasse du lait influence moins la fermeté du coagulum que la teneur en caséines et intervient surtout au niveau de la synérèse du coagulum, pour la ralentir.

Les teneurs en Ca, P et K du lait améliorent le temps de coagulation et la fermeté du gel alors que la teneur en Na est corrélée positivement avec le temps de coagulation. Plus que leur teneur globale, c'est la répartition des minéraux entre la phase micellaire et la phase soluble qui semble importante.

Les laits à faible pH et à faible taille micellaire présentent un temps de coagulation plus court et un caillé plus ferme.

Malgré les relations entre critères de composition physicochimique du lait et paramètres technologiques, jusqu'à ce jour aucun paramètre technologique ou ensemble de paramètres technologiques ne permet d'avoir une connaissance très précise du rendement fromager obtenu en fin de fabrication. Il est donc important de mesurer et de quantifier l'influence directe des composants physicochimiques du lait sur le rendement fromager.

II.3.2 - Influence des composants du lait sur le rendement

Cette notion de rendement fromager est ambiguë et recouvre diverses modalités de mesure. En effet, il n'existe actuellement aucun protocole universellement admis permettant de définir le rendement fromager ou de le déterminer (LAWRENCE, 1988). Nous avons, dans la mesure des informations disponibles, précisé le type de fabrication (nature du fromage fabriqué) et le type de rendement mesuré (rendement brut, rendement corrigé à partir de la teneur en eau du fromage, nombre de jours entre la fabrication et la mesure du

Tableau I.9. - Influence de la teneur en solides totaux et en solides hors matière grasse sur le rendement fromager

Type de fromage fabriqué	Rendement mesuré	Variable corrélée	Coefficient de détermination (%)	Equation de prédiction ou pente de la droite	Auteur Année	Nature des laits	Nombre d'échantillons
Cheddar	Rendement brut (kg/100 kg)						
	Lait entier	Solides totaux (%)	89,6	Rendement = 1,25 ST - 5,38	BANKS 1984	mélange	
	Lait standardisé MG		90,4	Rendement = 1,40 ST - 7,22			
Rendement à 35% d'humidité							
	Lait entier	Solides totaux (%)	91,0	Rendement = 1,17 ST - 4,49	BANKS 1984	mélange	32
	Lait standardisé MG		96,1	Rendement = 1,45 ST - 7,92			
	Rendement à 12 semaines (kg/100 kg)	Solides totaux (%)	54,6**		GRANDISON 1986a	mélange	
		Solides non gras (%)	28,4*				
Camembert	Rendement frais J+1	Solides non gras (%)	9,0	Rendement = 5,59 + 0,36 SNFT	TROUVE 1987	individuels écrémés	80
	Rendement sec J+1 (kg/100 kg)		10,2***				

Seuils de signification * $\alpha < 0,1$ ** $\alpha < 0,05$ *** $\alpha < 0,01$

rendement) pour chaque essai présenté. Ces disparités incitent à ne comparer qu'avec prudence les différents coefficients de corrélation établis entre rendement fromager et composition du lait.

a) Solides totaux

Pâtes pressées :

BANKS et al (1984) calculent des corrélations positives élevées entre teneur en solides totaux du lait et rendement fromager en Cheddar. Le coefficient de détermination est amélioré lorsque les fabrications portent sur des laits standardisés en M.G. et lorsque les rendements fromagers mesurés sont ramenés à un taux d'humidité constant (tableau I.9). GRANDISON et FORD (1986 a) signalent une corrélation positive mais nettement moins élevée entre le rendement mesuré à 12 semaines et la teneur en solides totaux ; la corrélation établie entre la teneur en solides non gras et le rendement n'est significative qu'au seuil de 10 %.

Pâtes molles :

En fabrication de type camembert à partir de laits écrémés, TROUVE (1987) n'explique qu'une très faible part du rendement mesuré à J+1 à partir de la teneur en solides hors M.G..

b) Composants protéiques

α) Influence de la teneur en M.A.T. ou en protéines totales

Pâtes pressées :

ALEANDRI et al (1989) calculent des corrélations hautement significatives entre la teneur en protéines élevée au carré et le rendement fromager en parmesan mesuré à différents temps. MAUBOIS (1970) et COSSIN (1988) expliquent, à partir de la teneur en protéines, de 30 à 49 % du rendement frais ou ajusté en M.S., alors que NUYTS et VASSAL (1989) expliquent 85 % des variations du rendement frais à partir de la teneur en M.A.T. (tableau I.10).

Pâtes molles :

En fabrication de type camembert, TROUVE (1987) n'explique que 21 % du rendement frais mesuré à J+1 à partir du TP, la prédiction est améliorée pour le rendement sec. Le rendement en caillé frais obtenu par centrifugation d'un lait emprésuré est fortement corrélé au TP (VERTES et al, 1989 a) (tableau I.10).

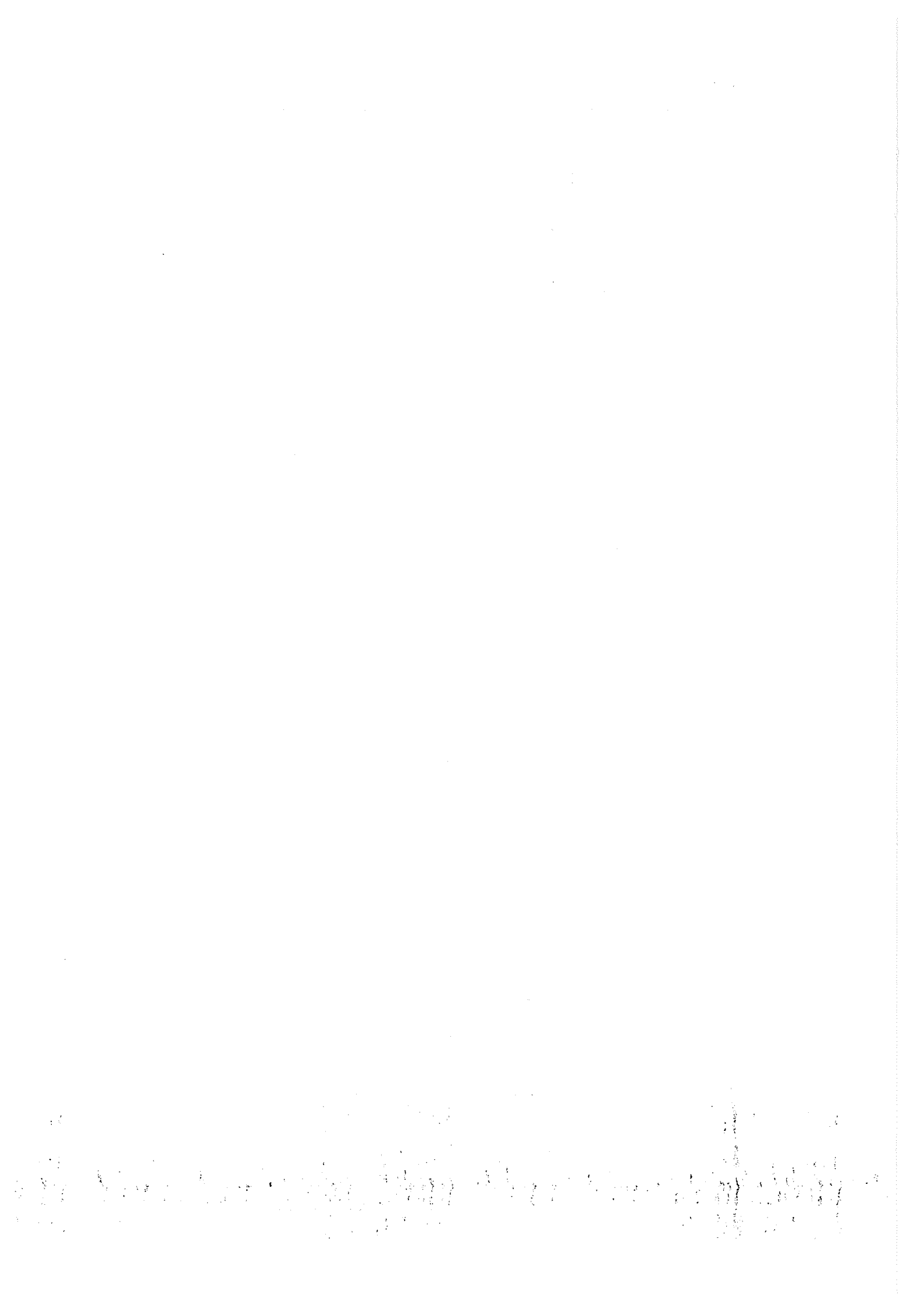


Tableau I.10. - Influence de la teneur en MAT ou de la teneur en protéines totales sur le rendement fromager

Type de fromage fabriqué	Rendement mesuré	Variable corrélée	Coefficient de détermination (%)	Equation de prédiction ou pente de la droite	Auteur Année	Nature des laits	Nombre d'échantillons
Parmesan	Rendement frais après pressage	(% protéines) ² g/l	***	Rendement = 0,392 TP - 1,686	ALEANDRI 1989	mélange	279
	Rendement frais après salage		***				
	Rendement à 6 mois (kg/1000l)		***				
Pâte pressée	Rendement J+1 ES ajusté	TP (g/l)	30***		COSSIN 1988	individuels	48
Saint Paulin	Rendement frais J+7 (kg/100 l)	TP (g/l)	49		MAUBOIS 1970	grand mélange	122
	Rendement frais J+1	MAT	84,6		NUYTS 1989	individuels	16
Camembert	Rendement frais J+1	TP (g/l)	21***		TROUVE 1987	individuels écrémé	80
	Rendement sec J+1 (kg/100 kg)		29***				
Caillé frais	Rendement corrigé MS (kg/100 kg)	TP (g/kg)	85***	VERTES 1989 _a	mélange	25	

Seuils de signification * $\alpha < 0,1$ ** $\alpha < 0,05$ *** $\alpha < 0,01$

Tableau I.11. - Influence des différentes protéines (caséines et protéines du lactosérum) sur le rendement fromager

Type de fromage fabriqué	Rendement mesuré	Variable corrélée	Coefficient de détermination (%)	Equation de prédiction ou pente de la droite	Auteur Année	Nature des laits	Nombre d'échantillons
Cheddar	Rendement brut J+1 (kg/100 kg)	Caséines (%)	99,8***	Rendement = 0,033 + 2,49 Cas	GILLES et LAWRENCE 1985	mélange	6
	Rendement brut (kg/100 kg)	Caséines (%)	***	b = 1,59	MARZIALI 1986a	individuels	284
		α -S-CN (%)	***	b = 1,33			
		β -CN (%)	***	b = 2,02			
α la (%)		***	b = 3,81				
	β lg (%)	***	b = 1,11				
Rendement ajusté 37 % d'humidité (kg/100 kg)	Caséines (%)	***	b = 1,26	MARZIALI 1986a	individuels	284	
	α -S-CN (%)	***	b = 1,04				
	β -CN (%)	***	b = 1,78				
	K-CN (%)	***	b = 1,68				
	α la (%)	***	b = 3,80				
	β lg (%)	***	b = 0,76				
Rendement à 12 semaines (kg/100 kg)	Caséines (%)	-		GRANDISON 1986a	individuels	32	
	α -S-CN (%)	28,0*					
Pâte pressée	Rendement J+1 ES ajusté	Caséines (g/l)	40,0***		COSSIN 1988	individuels	48
		% α -S-CN	24,0***				
		% β -CN	36,0***				
Saint Paulin	Rendement frais J+7 (kg/100 l)	Caséines (g/l)	54,0	Rendement = 0,411 Cas + 0,568	MAUBOIS 1970	grand mélange	122
Caillé frais	Rendement corrigé MS (kg/100 g)	Caséines (g/kg)	67,0***		VERTES 1989 α	mélange	25
		% K-CN	24,0**				

Seuils de signification * $\alpha < 0,1$ ** $\alpha < 0,05$ *** $\alpha < 0,01$

β) Influence des caséines

Pâtes pressées :

Le taux de caséines est fortement lié ($p < 0,01$) au rendement en pâte pressée (MAUBOIS et al, 1970 ; GILLES et LAWRENCE, 1985 ; MARZIALI et Ng KWAI HANG, 1986 a ; COSSIN, 1988 - tableau I.11). Dans le cas des travaux de MAUBOIS et al (1970) et COSSIN (1988) les coefficients de corrélation sont plus élevés que ceux établis avec le TP. Seuls GRANDISON et FORD (1986 a) n'observent pas de corrélation significative entre le rendement mesuré à 12 semaines et la teneur en caséines, mais celle-ci présente une variabilité faible. ALI et al (1980), après addition de 30 % de caséines purifiées, observent la formation d'un caillé mou et peu structuré. Une telle augmentation de la teneur en caséines désorganiserait la répartition des minéraux dans le lait et empêcherait la formation d'un coagulum ferme. GILLES et LAWRENCE (1985) n'observent pas ce phénomène en augmentant la teneur en caséines de 25 % par l'addition de lait écrémé en poudre : la teneur en minéraux s'accroît alors dans le même temps que la teneur en caséines.

ALI et al (1980), MARZIALI et Ng KWAI HANG (1986 a) et COSSIN (1988) observent que la teneur en β -CN a un rôle prépondérant sur le rendement fromager, brut ou ajusté à un pourcentage d'humidité. Par contre GRANDISON et FORD (1986 a) signalent une corrélation significative uniquement avec la teneur en α S-CN.

Pâtes molles :

Le rendement en caillé frais obtenu par centrifugation d'un lait emprésuré est significativement corrélé à la teneur en caséines, la corrélation étant moins forte qu'avec le TP (VERTES et al, 1989 a). Seul le pourcentage de K-CN est corrélé significativement au rendement.

γ) Influence des protéines du lactosérum

Pâtes pressées :

MARZIALI et Ng KWAI HANG (1986 a) calculent des corrélations significatives entre le rendement fromager brut ou ajusté à 37 % d'humidité et les teneurs des deux principales protéines du lactosérum. Dans leur essai, la teneur en α la est corrélée positivement à la teneur et au pourcentage de caséines dans le lait. L'augmentation du rendement fromager serait donc due à l'accroissement de la teneur en caséines.

Tableau I.12. - Influence de la teneur en matière grasse (M.G.) sur le rendement fromager

Type de fromage fabriqué	Rendement mesuré	Variable corrélée	Coefficient de détermination (%)	Equation de prédiction ou pente de la droite	Auteur Année	Nature des laits	Nombre d'échantillons
Cheddar	Rendement brut J+1 (kg/100 kg)	MG (%)	99,9***	Rendement = 6,51 + 1,05 MG	GILLES et LAWRENCE 1985	mélange	6
	Rendement brut (kg/100 kg)	MG (%)	***	b = 1,07	MARZIALI 1986a	individuels	284
	Rendement ajusté 37 % d'humidité (kg/100 kg)	MG (%)	***	b = 1,34	MARZIALI 1986a	individuels	284
	Rendement à 12 semaines (kg/100 kg)	MG (%)	51,0**		GRANDISON 1986a	mélange	32
Parmesan	Rendement frais après pressage	MG (%)	***		ALEANDRI 1989	mélange	279
	Rendement frais après salage	MG (%)	***				
	Rendement à 6 mois (kg/1000l)	MG (%)	***				
Saint Paulin	Rendement frais J+1	MG	58,5		NUYTS 1989	individuels	16

Seuils de signification * $\alpha < 0,1$ ** $\alpha < 0,05$ *** $\alpha < 0,01$

c) Matière grasse

Pâtes pressées :

Le coefficient de corrélation entre teneur en M.G. et rendement fromager (brut ou ajusté à un pourcentage de M.S.) est toujours significatif à 5 % (tableau I.12). La matière grasse est piégée pour la majeure partie dans le coagulum formé par les caséines. De plus elle interfère mécaniquement dans le processus de synérèse en retenant une partie de l'eau. Ainsi elle contribue au rendement frais ou brut plus que par son propre poids (GILLES et LAWRENCE, 1985).

d) Interactions protéines-matière grasse

De nombreux auteurs ont tenté de prédire le rendement fromager à partir des teneurs en protéines et en matière grasse. Les différentes équations sont présentées dans les tableaux I.13 a, b et c qui regroupent successivement les prédictions établies à partir du TP et du TB, puis de la teneur en caséines et du TB et enfin de la teneur en matières azotées coagulables et du TB.

α) Teneur en protéines totales et en matière grasse

Pâtes pressées :

En pâte pressée, la prédiction du rendement fromager à partir de la teneur en protéines et de la teneur en matière grasse du lait est élevée (40 %) et le plus souvent supérieure à 65 % (tableau I.13 a). Dans les travaux de BANKS et al (1984) la prédiction est améliorée lorsque le rendement est ajusté en fonction de la teneur en humidité du fromage. Par contre, dans les essais de MAUBOIS et al (1970), le coefficient de détermination est plus faible pour le rendement ajusté en M.S. .

La teneur en M.G. a en général un poids plus important que le taux protéique dans la prédiction du rendement.

Pâtes molles :

La détermination du rendement frais pour des fabrications en pâte molle est médiocre (MAUBOIS et al, 1970 ; TROUVE, 1987). Elle est meilleure pour le rendement ajusté en M.S. avec des coefficients de détermination variant entre 40 et 60 %. Le poids relatif attribué à chaque composant varie en fonction du type de rendement mesuré.

Tableau I.13. - Influence des interactions protéines-matière grasse sur le rendement fromager

a) Teneur en protéines totales et teneur en matière grasse

Type de fromage fabriqué	Rendement mesuré	Variable corrélée	Coefficient de détermination (%)	Equation de prédiction ou pente de la droite	Auteur Année	Nature des laits	Nombre d'échantillons
Cheddar	Rendement brut (kg/100 kg)	Protéines (%) MG (%)		Rend = 1,58 MG + 1,23 Prot	VAN SLIKE PRICE 1927		
	Lait entier	Protéines (%) MG (%)	89,0	Rend = 0,57 + 1,44 MG + 1,26 Prot	BANKS 1984	mélange	
	Lait standardisé MG	Protéines (%) MG (%)	86,3	Rend = 1,88 + 1,07 MG + 1,29 Prot			
	Rendement à 35% d'humidité						
	Lait entier	Protéines (%) MG (%)	88,3	Rend = 1,38 + 1,42 MG + 1,01 Prot	BANKS 1984	mélange	
	Lait standardisé MG	Protéines (%) MG (%)	91,3	Rend = 1,45 + 1,43 MG + 0,99 Prot			
Parmesan	Rendement à 6 mois (kg/1000 l)	(Protéines) ² MG (g/l)	82,1	Rend = 28,33 + 0,99 MG + 0,02 (Prot) ²	ALEANDRI 1989	mélange	279
Saint Paulin	Rendement frais J+7	Protéines (g/l) MG (g/l)	67	Rend = -4,92 + 0,33 Prot + 0,20 MG	MAUBOIS 1970	grand mélange	122
	Rendement ajusté 48% MS J+7 (kg/100l)	Protéines (g/l) MG (g/l)	43	Rend = 1,65 + 0,15 Prot + 0,19 MG			
Saint Nectaire	Rendement sec J+1	Protéines (%) MG (%)	75,6	Rend = -0,23 + 0,06 MG + 0,13 Prot	GAREL et COULON 1990	troupeaux	317
Camembert	Rendement frais J+1	Protéines(g/l) MG (g/l)	29	Rend = 0,284 Prot + 0,20 MG	MAUBOIS 1970	grand mélange	78
	Rendement frais J+7	Protéines(g/l) MG (g/l)	14	Rend = 0,18 Prot + 0,27 MG			
	Rendement ajusté 45% MS J+7 (kg/100 l)	Protéines(g/l) MG (g/l)	62	Rend = 0,19 Prot + 0,25 MG			
	Rendement frais J+1	Protéines(g/l) MG (g/l)	24	Rend = 0,48 Prot - 0,01 MG	MAUBOIS 1970	grand mélange	42
Rendement frais J+7	Protéines(g/l) MG (g/l)	21	Rend = 0,46 Prot - 0,03 MG				
Rendement ajusté 45% MS J+7 (kg/100 l)	Protéines(g/l) MG (g/l)	39	Rend = 4,17 + 0,07 Prot + 0,24 MG				
	Rendement frais J+1 (kg/100 kg)	TP (g/l) TB (g/l)	13	Rend = 1,38 + 0,19 (TB+TP)	TROUVE 1987	individuels	80

Tableau I.13. - Influence des interactions protéines-matière grasse sur le rendement fromager

b) Teneur en caséines et en matière grasse

Type de fromage fabriqué	Rendement mesuré	Variable corrélée	Coefficient de détermination (%)	Equation de prédiction ou pente de la droite	Auteur Année	Nature des laits	Nombre d'échantillons
Cheddar	Rendement brut (kg/100 kg)	Caséines (%) MG (%)		Rendt = 1,58 (MG + Cas)	VAN SLIKE PRICE1927		
	Lait entier	Caséines (%) MG (%)	87,7	Rendt = 0,76 + 1,47 (MG + Cas)	BANKS 1984	mélange	
	Lait standardisé MG	Caséines (%) MG (%)	87,1	Rendt = 1,50 + 1,36 (MG + Cas)			
	Rendement à 35% d'humidité						
Saint Pâulin	Lait entier	Caséines (%) MG (%)	90,4	Rendt = 1,20 + 1,39 (MG + Cas)	BANKS 1984	mélange	
	Lait standardisé MG	Caséines (%) MG (%)	92,3	Rendt = 1,12 + 1,41 (MG + Cas)			
Saint Pâulin	Rendement frais J+7	Caséines (g/l) MG (g/l)	68	Rendt = - 2,33 + 0,34 Cas + 0,18 MG	MAUBOIS 1970	grand mélange	122
	Rendement ajusté 48% MS J+7 (kg/100l)	Caséines (g/l) MG (g/l)	43	Rendt = 2,91 + 0,15 Cas + 0,19 MG			
Camembert	Rendement frais J+1	Caséines(g/l) MG (g/l)	32	Rendt = 0,39 Cas + 0,18 MG	MAUBOIS 1970	grand mélange	78
	Rendement frais J+7	Caséines(g/l) MG (g/l)	16	Rendt = 1,79 + 0,26 Cas + 0,19 MG			
	Rendement ajusté 45% MS J+7	Caséines(g/l) MG (g/l)	41	Rendt = 0,21 Cas + 0,29 MG			
	Rendement frais J+7	Protéines (g/l) MG (g/l) Cas/Prot	21	Rendt = -10,81 + 0,12 Prot + 0,16 MG + 0,21 Cas/Prot			
	Rendement ajusté 45% MS J+7 (kg/100 l)	Protéines (g/l) MG (g/l) Cas/Prot	66	Rendt = 9,90 + 0,11 Prot + 0,24 MG - 0,08 Cas/Prot			
	Rendement frais J+1	Caséines(g/l) MG (g/l)	29	Rendt = 0,64 Cas -0,02 MG	MAUBOIS 1970	grand mélange	42
	Rendement frais J+7	Caséines(g/l) MG (g/l)	25	Rendt = -0,74 + 0,59 Cas - 0,01 MG			
	Rendement ajusté 45% MS J+7	Caséines(g/l) MG (g/l)	13	Rendt = 0,14 Cas + 0,35 MG			
Camembert	Rendement frais J+7	Protéines (g/l) MG (g/l) Cas/Prot	26	Rendt = -20,26 + 0,41 Prot - 0,01 MG + 0,28 Cas/Prot			
	Rendement ajusté 45% MS J+7 (kg/100 l)	Protéines (g/l) MG (g/l) Cas/Prot	42	Rendt = 8,31 + 0,10 Prot + 0,25 MG - 0,07 Cas/Prot			

β) Teneur en caséines et en matière grasse

La prise en compte du taux de caséines au lieu du taux de protéines n'améliore pas sensiblement la prédiction du rendement, que ce soit en fabrication de pâtes pressées ou de pâtes molles (tableau I.13 b). De même, pour MAUBOIS et al (1970), la prise en considération de la proportion des caséines précipitables à pH 4,6 (Caséines / Protéines) améliore peu la prédiction du rendement fromager.

Dans les modèles établis à partir du taux de caséines et du TB, le poids relatif accordé aux caséines par rapport aux matières grasses est en général plus fort que pour le TP.

γ) Teneur en matières azotées coagulables et en matière grasse

Pâtes molles :

Les données de MAUBOIS et al (1970) montrent que l'utilisation de la teneur ou de la proportion de matières azotées coagulables par la présure (M.A.C.) n'améliore pas l'estimation du rendement fromager.

e) Minéraux

GRANDISON et FORD (1986 a) n'observent pas de corrélation significative entre teneurs en minéraux totaux et rendement fromager. Mais le rendement est relié négativement aux teneurs en Ca, Mg, K et P du lactosérum : ces relations suggèrent que la distribution des minéraux entre les deux phases aqueuse et colloïdale joue un grand rôle en transformation fromagère, ce qui a également été mis en évidence pour les paramètres technologiques.

II.3.3 - Conclusion

Les équations de prédiction du rendement fromager présentées sont établies dans des conditions bien déterminées. La plupart des auteurs soulignent le fait qu'elles ne sont pas généralisables à d'autres essais : la variabilité des coefficients de régression d'un essai à l'autre illustre bien cette remarque. Il convient donc, pour chaque type de fabrication, et chaque technique de transformation, d'ajuster ces coefficients de régression.

L'un des facteurs les plus influents sur le rendement fromager est la teneur en eau des fromages, notamment dans le cas des pâtes molles. Le moyen le plus approprié pour tenir compte de ces variations de teneur en eau des fromages est d'ajuster les rendements à

Tableau I.13. - Influence des interactions protéines-matière grasse sur le rendement fromager

c) Teneur en matières azotées coagulables (MAC) et en matière grasse

Type de fromage fabriqué	Rendement mesuré	Variable corrélée	Coefficient de détermination (%)	Equation de prédiction ou pente de la droite	Auteur Année	Nature des laits	Nombre d'échantillons
Camembert	Rendement ajusté 45% MS J+7	MAC (g/l) MG (g/l)	37	Rendt = 0,20 MAC + 0,31 MG	MAUBOIS 1970	grand mélange	78
	Rendement frais J+7	Protéines(g/l) MG(g/l) MAC/Prot	20	Rendt = -5,75 + 0,08 Prot + 0,17 MG + 0,17 MAC/Prot			
	Rendement ajusté 45% MS J+7 (kg/100 l)	Protéines(g/l) MG(g/l) MAC/Prot	65	Rendt = 7,84 + 0,13 Prot + 0,24 MG - 0,07 MAC/Prot			
	Rendement ajusté 45% MS J+7	MAC(g/l) MG(g/l)	18	Rendt = 0,17 MAC + 0,33 MG	MAUBOIS 1970	grand mélange	42
	Rendement frais J+7	Protéines(g/l) MG(g/l) MAC/Prot	23	Rendt = -14,49 + 0,46 Prot + 0,02 MG + 0,18 MAC/Prot			
	Rendement ajusté 45% MS J+7 (kg/100 l)	Protéines(g/l) MG(g/l) MAC/Prot	40	Rendt = 3,35 + 0,07 Prot + 0,24 MG + 0,01 MAC/Prot			

une teneur en matière sèche donnée. Les équations obtenues en incluant la teneur en matière sèche du fromage dans les variables explicatives ne sont pas développées ici car elles débordent du cadre de ce travail, centré sur les paramètres de composition du lait.

Les protéines et la matière grasse sont les deux principaux composants du lait influant sur son "aptitude fromagère".

En ce qui concerne les protéines, ce sont surtout les caséines qui interviennent au niveau de la fermeté du coagulum. Par contre la teneur en caséines ou en matières azotées coagulables n'améliore pas ou peu, par rapport à la teneur en protéines, la prédiction du rendement fromager. Les modèles de prédiction établis à partir des teneurs en protéines et en matière grasse permettent d'expliquer, après correction des différences de teneur en M.S. des fromages, plus de 40 % des variations du rendement fromager. Les coefficients de détermination sont très variables d'un essai à l'autre.

Les teneurs en minéraux jouent sur les paramètres technologiques mais leur liaison avec les rendements fromagers a été peu étudiée. Leur répartition entre la phase soluble et la phase colloïdale semble importante.

La teneur en matière grasse d'un lait à la transformation est plus facilement modifiable (écrémage-ajout de M.G.) que la teneur en protéines qui nécessite des équipements plus coûteux. La deuxième partie de cette synthèse bibliographique sera donc normalement consacrée à l'étude de l'influence des facteurs zootechniques sur les différentes protéines du lait d'une part et d'autre part sur les autres paramètres permettant d'apprécier la "qualité fromagère" d'un lait.

DEUXIEME PARTIE

FACTEURS DE VARIATION DES TENEURS EN PROTEINES ET DE LA QUALITE FROMAGERE DES LAITS

Les données présentant à la fois les différents paramètres de composition protéique : protéines totales, caséines et protéines du lactosérum et/ou les paramètres permettant d'estimer la qualité fromagère des laits : temps de coagulation, fermeté du caillé, rendement fromager ont été privilégiées pour la rédaction de cette deuxième partie.

I - Facteurs propres à l'animal

I.1 - Race

Les comparaisons effectuées entre les principales races "françaises" sont présentées au tableau I.14. Les données sont très variables d'un essai à l'autre (contrôle laitier - essais en exploitation - fermes expérimentales...). Seuls COLLEAU et al (1979), LAURENT et al (1989 b) et VERTES et al (1989 a) présentent des résultats d'essais où les VL sont élevées dans les mêmes conditions.

La base des comparaisons est la race Française Frisonne et/ou la race Holstein.

Les écarts à la race Frisonne sont les plus importants pour la Jersiaise : le TP est supérieur de 4 à 7,9 % en moyenne (ROGERS et STEWART, 1982 ; BANKS et al, 1986 ; BANKS, 1987 ; FNOCL, 1989).

L'écart de taux de caséines est encore plus important que pour le taux protéique (+8,7 %, BANKS et al, 1986), ce qui se traduit par une forte augmentation des rendements fromagers bruts (+36 %) ou ajustés en M.S. (+39 %). Par contre les quantités de matière protéique produites sont inférieures en race Jersiaise, de 20 à plus de 70 kg, la race Frisonne ayant un niveau de production environ double de la race Jersiaise (FNOCL, 1989).

**Tableau I.14 - Influence de la race sur les teneurs en azote,
les paramètres technologiques et le rendement fromager**

Auteur Année	Origine des laits	Paramètre mesuré	Race							
			Frisonne FFPN	Holstein	Nor- mande	Mont- béliarde	Brune	Pie Rouge	Abon- dance	Jersaise
AURIOL 1961	individuels	n Temps de coagulation (min)	44 20		63 16,6					
COLLEAU 1979	individuels mêmes conditions d'élevage	Taux protéique (‰) QMP (kg)		32,3 183,4	36,2 125,9					
ROGERS 1982	individuels	Protéines (‰) QMP (kg)	33 141							37 118
BANKS 1986	mélange	n Protéines (‰) Caséines (‰) Rendit fromager brut (%) Rendit ajusté à 45% d'humidité (%)	12 34,7 26 10,32 10,11							8 42,6 34,7 14,03 14,08
LEDORE 1986	individuels n = 615	MAT (‰) Protéines (‰) Nombre caséique ANP (‰)	35,4 33,5 81,4 1,9	33,5 31,7 81,7 1,8	37,7 35,8 81,8 1,9	35,7 33,6 82,2 2,1				
BANKS 1987		Protéines (‰)	32,6							38,6
FNOCL 1989	individuels	n QMP (kg/lactation) TP (‰)	1594 885 215 30,3		233398 188 33,0	223891 191 31,6	10227 192 31,4	18313 183 31,8	12629 165 32,1	778 143 37,0
FRCC 1988	individuels	n MAT (g/l) Taux protéique (g/l) Temps de floculation (cm/5mn) Temps raffermissement (cm/5mn) Fermeté du gel à 20 mn Fermeté du gel à 30 mn Taille des micelles (nm)	436 à 447 34,6 32,8 1,23 1,30 3,33 3,70 189		378 à 402 36,8 34,9 0,97 0,74 4,07 4,30 174					
LAURENT 1989 b	individuels mêmes conditions d'élevage	n Taux protéique (g/kg) QMP (g/l) % αS-CN % β-CN % K-CN Taille micellaires (nm) R (min) K20 (min) A30 (mm) Rendit frais J+1 (kg/100kg) Rendit sec J+1 (kg/100 kg)		Holstein x Montb. 36 32,7 731 44,0 36,8 19,2 201 20,0 26,5 12,6 7,21 3,10		38 32,6 710 45,3 36,3 18,4 206,5 19,1 23 13,2 7,58 3,13				
NUYTS 1989	individuels	n MAT R (min) K20 (min) A30 (mm) Rendit brut (kg/100kg) Rendit corrigé MS (kg/100kg)		16 30,4 18,4 14,8 15,9 9,9 9,6	16 33,7 10,2 4,8 43,0 11,4 11,7					
VERTES 1989	petit mélange mêmes conditions d'élevage	n MAT (g/kg) Protéines (g/kg) Caséines (g/kg) Nombre caséique % K-CN Vitesse raffermissement (mPa/s2) Fermeté du gel (g/cm2) Rendit frais corrigé (%)		5 30,8 29,4 23,4 79,5 8,5 1,89 3,4 9,8	5 33,6 32,1 25,2 78,5 11,0 2,34 4,4 10,8					
GAREL 1990	petit mélange	n Taux protéique (‰) Temps de prise (min) Rendit brut J+1 (kg/100l) Rendit MS J+1 (kg/100l) Rendit brut à 10 semaine	135 31,7 13,4 12,1 6,2 9,9			135 32,4 12,5 12,4 6,4 10,1				

Les vaches de race Normande présentent des TP supérieurs à ceux des vaches Frisonne de 2,1 à 2,3 points (LE DORE et al, 1986 ; FROC et al, 1988). LE DORE signale une légère amélioration du pourcentage de caséines dans les protéines. AURIOL (1961) et FROC et al (1988) mesurent sur laits de Normande un temps de coagulation plus faible. FROC signale une diminution du temps de raffermissement et une augmentation de la fermeté des gels, résultats en concordance avec les variations de composition chimique.

Les écarts avec la race Holstein sont encore plus grands pour le TP (+2,7 à 4,1 ‰) mais le pourcentage de caséines dans les protéines est variable (COLLEAU et al, 1979 ; LE DORE et al, 1986 ; FNOCL, 1989 ; NUYTS et VASSAL, 1989 ; VERTES et al, 1989 a). Le pourcentage de K-CN, la vitesse de raffermissement et la fermeté du gel sont plus élevés en race Normande ; le temps de coagulation et le K_{20} plus faibles, ce qui se traduit par une augmentation des rendements frais ou corrigés en M.S. de 10 à 22 % (NUYTS et VASSAL, 1989 ; VERTES et al, 1989 a).

En race Montbéliarde, le TP est légèrement supérieur à celui de la race Frisonne ou Holstein : +0,1 à +1,9 ‰ (LE DORE et al, 1986 ; FNOCL, 1989 ; GAREL et COULON, 1990). Le pourcentage de caséines dans les protéines est également amélioré (LE DORE et al, 1986). GAREL et COULON (1990) mesurent une diminution du temps de prise et une amélioration du rendement fromager de 2 à 4 % en fonction du moment de mesure.

LAURENT et al (1989 b) comparent la race Montbéliarde au croisement Montbéliarde x Holstein. Il n'y a aucune différence significative, bien que les paramètres technologiques et le rendement mesuré à J+1 soient légèrement améliorés pour la Montbéliarde.

Les races Abondance, Pie Rouge et Brune présentent des TP supérieurs à la race Frisonne ou Holstein, respectivement de 1,8 ; 1,5 et 1,1 ‰ (FNOCL, 1989).

La hiérarchisation des principales races laitières "françaises" en terme de taux protéique semble être : Jersiaise - Normande - Abondance - Pie Rouge - Montbéliarde - Brune - Frisonne - Hostein. Les résultats concernant le pourcentage de caséines dans les protéines totales sont moins homogènes. Si l'accroissement de la teneur en protéines agit directement sur les paramètres technologiques et le rendement fromager (tableau I.14), il existe une forte opposition entre composition et quantité de lait : les races à plus fort TP produisent des quantités de lait et des quantités de matière protéique inférieures.

I.2 - Niveau génétique

La variabilité génétique intrarace induit des différences de potentiel de production individuelle, cible des efforts de sélection. Les possibilités réelles de la sélection sont contrôlées par un certain nombre de contraintes biologiques, rappelées brièvement ci-dessous avant de donner quelques exemples chiffrés de l'influence du potentiel génétique.

I.2.1 - Paramètres génétiques

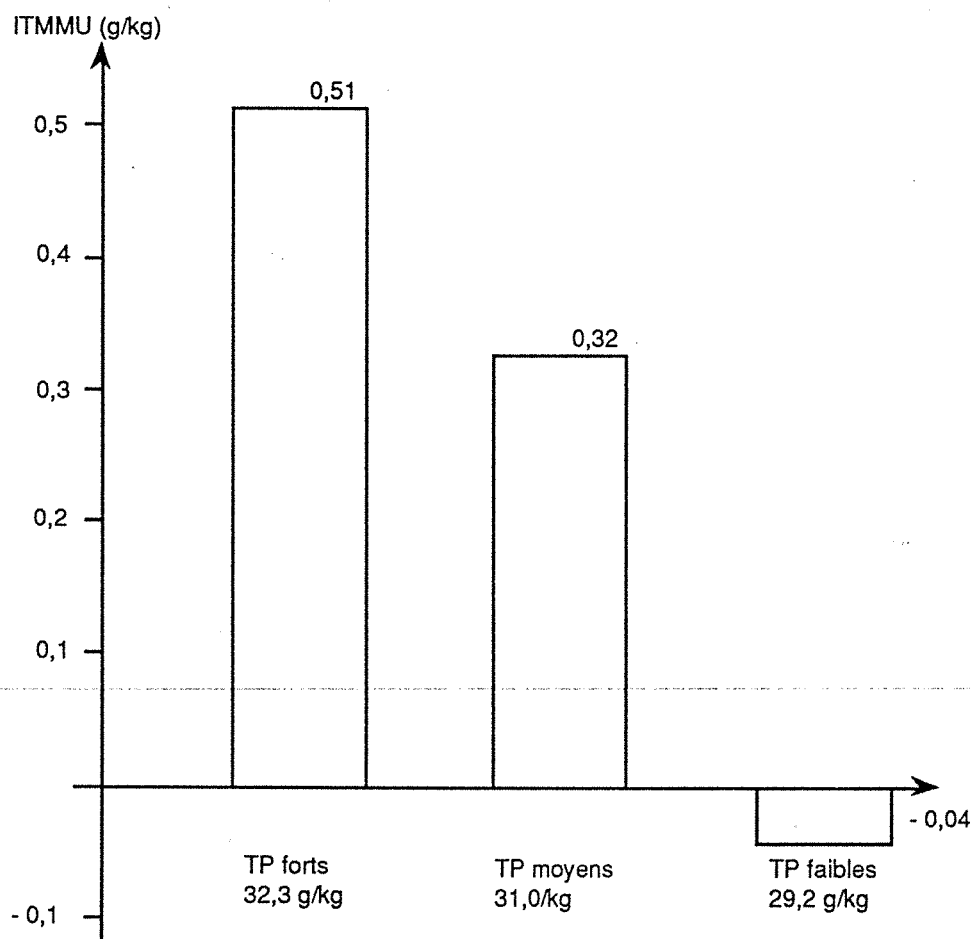
Le taux protéique présente un coefficient de variation phénotypique faible, compris entre 5 et 10 %, alors que les quantités de matière protéique ont une variabilité plus élevée : entre 20 et 30 % (BARILLET et al, 1987). L'héritabilité des quantités de matière protéique varie entre 0,10 et 0,30 (HAYES et al, 1984 ; BARILLET et al, 1987). L'héritabilité du taux protéique est plus forte : elle se situe entre 0,30 et 0,70 et sa valeur moyenne serait proche de 0,50. L'héritabilité est plus faible pour le taux de caséine (0,26) et pour le pourcentage de caséines dans les protéines du lactosérum (0,08) (HAYES et al, 1984). Il serait donc apparemment plus facile de jouer sur la teneur en protéines du lait que sur la teneur en caséines et ce bien que les facteurs de variation tels que le stade ou l'état sanitaire perturbent plus les teneurs en protéines du lactosérum que les teneurs en caséines. Les différences de variabilité et d'héritabilité confèrent une marge de progrès plus importante aux quantités de matière protéique qu'au taux protéique (BARILLET et al, 1987).

Les corrélations génétiques existant entre quantité de lait, taux, quantités de matière et taux, conditionnent directement les possibilités de sélection sur l'un et l'autre paramètre. On peut rappeler, à partir des résultats synthétisés par BARILLET et al (1987), la forte corrélation existant entre quantité de lait et QMP ($r > 0,83$) et la faible corrélation existant entre QMP et TP (comprise entre 0 et 0,22) alors que la quantité de lait est liée négativement au taux protéique ($- 0,20$ à $- 0,50$). Ainsi toute sélection sur le TP seul détériore le rendement laitier ; la sélection sur la QMP permet de maintenir le TP et d'améliorer la production laitière.

Des corrélations négatives entre QMP et teneur en caséines ($r = - 0,28$) ou pourcentage des caséines dans les protéines totales ($r = - 0,45$) sont signalées par HAYES et al (1984). Ainsi la sélection sur les quantités de matière protéique se traduirait par une réduction du pourcentage de caséines dans les protéines totales, et donc du taux de caséines.

Figure I.1 - Comparaison des index TMMU des 3 groupes d'éleveurs formés en fonction de leur TP

(Durand et al. GIE Bretagne, 1988)



1.2.2 - Influence du potentiel génétique

Les calculs d'indexation reposant sur des bases différentes dans chaque pays, seuls les résultats acquis en France sont présentés. AGABRIEL et al (1990) observent sur laits de troupeaux une corrélation positive ($r = 0,64$) entre l'index génétique TMMU et le taux protéique. DURAND et al (1988) dans une enquête auprès de 286 éleveurs distinguent nettement trois groupes formés en fonction de leur TP (faible-moyen-fort) à partir de leur index TMMU (cf figure 1.1). KEMPF et SEEGERS (1990) expliquent les TP moyens de 86 élevages par une régression linéaire multiple prenant en compte l'index TMMU : toute chose étant égale par ailleurs, l'augmentation d'un point d'ITMMU entraînerait une augmentation d'1 g/l du TP moyen annuel et d'1,8 g/l du TP hivernal (janvier à mars).

Le potentiel génétique d'un individu, pour une race donnée, est donc un facteur explicatif important de la variation de la composition de son lait. Il agit sans doute en interaction avec d'autres facteurs (alimentaires, climatiques...) mais peu d'études ont permis de chiffrer ses répercussions directes sur le taux protéique. La publication des index taux séparés permettra de mesurer plus précisément son influence.

1.3 - Numéro de lactation

L'effet du numéro de lactation est difficile à apprécier : la plupart du temps, la comparaison ne concerne pas les mêmes animaux d'un numéro de lactation à l'autre et les éventuelles différences de potentiel génétique des vaches sont ignorées. Lorsque la comparaison concerne les lactations successives de mêmes animaux, les éventuels changements des facteurs de production sont omis.

Ng KWAI HANG et al (1982, 1986) observent un effet significatif du rang de lactation sur la teneur en protéines du lait. Sauf pour les lactations de rang 1 et 2 où les observations divergent, cette variabilité des observations pour le taux de caséines comme pour le taux de protéines découlant sans doute en grande partie des différences de production laitière, le taux protéique du lait diminue avec la parité (REMOND, 1984 ; LE DORE et al, 1986 ; OLDHAM et FRIGGENS, 1989) avec des écarts moyens entre 2 lactations successives compris entre 0,2 et 0,6 ‰ (tableau 1.15). Dans le même temps le taux de caséine diminue de - 0,1 à - 0,5 ‰ pour les lactations de rang supérieur à 2 (HAYES et al, 1984 ; LE DORE et al, 1986 ; Ng KWAI HANG et al, 1987).

Le pourcentage de caséines dans les protéines totales diminue de moins de 1 % par lactation supplémentaire (HAYES et al, 1984 ; REMOND, 1984 ; LE DORE et al, 1986). La

Tableau I.15 - Influence du numéro de lactation sur les teneurs en azote du lait et les paramètres technologiques

Auteur Année	Origine des laits	Nombre d'échantillons	Paramètre mesuré	Numéro de lactation						
				1	2	3	4	5	6	
AURIOL 1961	individuels	79	Temps de coagulation (min)	16,4	17,9	18,2				
HAYES 1984	individuels	2813 lactations 2126 VL	Caséines (‰) Nombre caséique	+ 1,4 + 3,5	+ 1,1 + 1,6	+ 0,6 + 0,5	+ 0,3 + 0,4	+ 0,2 + 0,8	Base = 0 Base = 0	
KROEKER 1985a	individuels	17086	% α ₁ a % β Ig % Immunoglobulines	+ 2,3 + 0,8 - 2,3	+ 1,3 + 0,7 - 1,6	+ 0,3 + 0,8 - 0,9	+ 0,5 + 0,1 - 0,5	Base = 0 Base = 0 Base = 0		
LINDSTROM 1984	individuels	731	Temps de coagulation (s)	375	391	382	384			
SCHAAR 1984	individuels	136	Temps de coagulation A10 (min) K20 (min)	12,5 18,7 11,3	12,9 23,1 12,4	11,5 29,9 7,1				
LE DORE 1986	individuels	1029	MAT (‰) Protéines (‰) Caséines (‰) Nombre caséique PLS (‰) ANP (‰)	34,0 32,3 26,7 82,8 6,6 1,8	33,8 32,1 26,5 82,5 6,7 1,8	33,6 31,9 26,0 81,6 6,9 1,9				
NG KWAI HANG 1987	individuels	9874 échant. 1888 VL	Caséines (g/l) α ₁ S-CN (g/l) β-CN (g/l) K-CN (g/l) % α ₁ S-CN % β-CN % K-CN α ₁ a (g/l) βIg (g/l) Sérum albumine (g/l) Immunoglobulines (g/l) % α ₁ a % βIg % BSA % IgG	27,0 15,80 8,85 2,34 58,5 32,8 8,7 1,47 4,23 0,39 0,34 22,9 65,8 6,1 5,3	27,3 16,23 8,67 2,38 59,5 31,8 8,7 1,48 4,45 0,45 0,43 21,7 65,3 6,6 6,3	27,2 16,33 8,46 2,38 60,0 31,1 8,8 1,45 4,60 0,47 0,48 20,7 65,7 6,7 6,9	26,7 16,29 8,21 2,35 60,8 30,6 8,8 1,47 4,59 0,48 0,53 20,8 64,9 6,8 7,5	26,7 16,16 8,22 2,34 60,5 30,8 8,8 1,46 4,61 0,47 0,55 20,6 65,0 6,6 7,8	26,7 16,19 8,15 2,37 60,6 30,5 8,9 1,45 4,63 0,47 0,58 20,3 64,9 6,6 8,1	
OLDHAM 1989			QMP (kg) Protéines (g/kg)	226 33,6	273 34,6	284 33	298 32,7	294 32,1		

caséine β serait principalement responsable de la diminution du taux de caséines, les pourcentages d' α S-CN et de K-CN variant assez peu (Ng KWAI HANG et al, 1987).

Par rapport à l'ensemble des protéines du lactosérum, le pourcentage d' α la diminue (- 3 % entre la lactation 1 et la lactation 6), le pourcentage de β lg est relativement stable et la part des immuno-globulines augmente plus que celle de la séralbumine (KROEKER et al, 1985 a ; Ng KWAI HANG et al, 1987). Avec l'augmentation de la teneur en protéines du lactosérum, les quantités des différentes protéines du lactosérum augmentent, hormis les quantités d' α la (tableau I.15).

Les primipares ont tendance à produire des laits coagulant un peu plus rapidement que les multipares (AURIOL, 1961 ; LINDSTROM et al, 1984 ; SCHAAR, 1984). Au delà de la 2^{ème} lactation, les résultats sont moins nets : AURIOL (1961) observe une légère augmentation du temps de coagulation entre la 2^{ème} et la 3^{ème} lactation mais les effectifs sont faibles. LINDSTROM et al (1984), SCHAAR (1984) notent une tendance à la diminution du temps de coagulation avec l'augmentation du numéro de lactation et donc pour des teneurs en caséines inférieures, en contradiction avec les corrélations négatives teneur en caséines - temps de coagulation établies par STORRY et al (1983), MARZIALI et Ng KWAI HANG (1986 b), QUELEN et KERJEAN (1987).

L'augmentation de la fermeté du caillé avec le numéro de lactation notée par SCHAAR (1984) est tout aussi surprenante au vu de l'influence favorable du taux de protéines et du taux de caséines sur la vitesse de raffermissement du gel.

I.4 - Stade de lactation

Les teneurs du lait en protéines évoluent de façon inverse à la quantité de lait sécrétée, avec des teneurs élevées au tout début de la lactation et diminuant rapidement pour atteindre leur minima au 2^{ème} mois de lactation. Elles s'accroissent ensuite jusqu'à la fin de la lactation (tableau I.16).

Pendant la phase montante de lactation, c'est au cours de la période colostrale que l'évolution de la composition protéique est la plus importante, avec une teneur en protéines supérieure à 100 g/l lors des deux premières traites et qui chute à environ 40 g/l à la fin de la première semaine de lactation (VIGNON, 1976). L'évolution est ensuite plus faible, la diminution jusqu'à la valeur minima n'excédant pas 6 g/l (VIGNON, 1976 ; NG KWAI HANG et al, 1982 ; GRANDISON et al, 1984 - tableau I.16).

Tableau I.16 - Influence du stade de lactation sur les teneurs en azote du lait et les paramètres technologiques

Nature des laits	Nombre d'échantillons	Auteur Année	Paramètre mesuré	Valeur minimum		Valeur maximum		Classe de stade									
				Mois	Valeur	Mois	Valeur	Jour 1	Jour 2	Jour 3	Jour 4	Jour 5	Jour 6	Jour 8	Jour 11	Jour 14	
<u>Début de lactation</u>																	
individuels	16 VL	VIGNON 1976	MAT (g/l)	4 ou 5 sem	30,2	1er jour	121,7	Jour 1	Jour 2	Jour 3	Jour 4	Jour 5	Jour 6	Jour 8	Jour 11	Jour 14	
individuels	24 VL	VIGNON 1976	Protéines (g/l)	9 sem	30,8	1er jour	107,6	Jour 1	Jour 2	Jour 3	Jour 4	Sem 2	Sem 3	Sem 4	Sem 5	Sem 6	
individuels	16 VL	VIGNON 1976	Protéines (g/l)	7 sem	30,3	1er jour	107,8	Jour 1	Jour 2	Jour 3	Jour 4	Sem 2	Sem 3	Sem 4	Sem 5	Sem 6	
individuels	36	GRANDISON 1986	Caséines (%)	5 sem	2,2	1 sem	3,4										
			α S-CN (%)	5 sem	0,95	1 sem	1,45										
			K-CN (%)	5 sem	0,32	1 sem	0,55										
			Temps de coagulation (min)			Pas de variation											
			Force du coagulum (g)	5 sem	20	1 sem	55										
<u>Lactation complète</u>																	
individuels	24405 échant. 2800 VL	NG KWAI HANG 1982	Protéines (‰)	2	31,0	1 et 11	38,0										
			Caséines (‰)	2	24,5	1	30,5										
			PLS (‰)	2	6,5	11	8,0										
			Nombre caséique	11	78,9	2	80,1										
individuels	201	REMOND 1984	Protéines (‰)	2	29,5	10	36,2										
			Protéines (‰)	2	30,2	10	37,0										
individuels	17086	KROECKER 1985a	α la (%)	10	0	1	4										
			β lg (%)	1	-3,5	10	0										
			Immunoglobulines (%)	8	-1	1	1										
			Sérumalbumine (%)	1	-2	3 à 10	0										
individuels	615	LEDORE 1986	MAT (‰)					1 à 3 sem		3 sem à 4 mois		4 à 8 mois		> 8 mois			
			Protéines (‰)					35,6		32,7		35,2		37,7			
			ANP (‰)					2,0		1,8		1,8		1,9			
			Nombre caséique					81,3		82,4		82,1		81,4			
individuels	9874 échant. 1888 VL	NG KWAI HANG 1987,0	α S-CN (g/l)	2,0	15,1	1,0	18,1	1 à 10 j	11 à 20 j	21 à 30 j	2 à 3 mois	4 à 6 mois	6 à 9 mois	9 à 12 mois			
			β-CN (g/l)	2,0	7,7	11,0	8,8	18,1	16,0	15,4	15,2	15,6	16,1	16,8			
			K-CN (g/l)	3,0	2,2	12,0	2,5	8,3	8,2	7,7	8,0	8,4	8,6	8,8			
			β lg (g/l)	2	4,31	12	4,85	2,5	2,3	2,3	2,2	2,3	2,4	2,5			
			α la (g/l)	9	1,38	1	1,77	4,58	4,32	4,35	4,33	4,37	4,50	4,78			
			Sérumalbumine (g/l)	1	0,38	11	0,50	1,77	1,61	1,53	1,45	1,43	1,39	1,41			
			Immunoglobulines (g/l)	6	0,42	1	0,62	0,38	0,43	0,46	0,46	0,46	0,47	0,48			
individuels	814	COULON 1983a	TP (g/kg)	2	29,3	10	37,2										
			Temps de coagulation (min)	1	24,5	6	32										
individuels PrimiparEs	3205	AGABRIEL 1990	TP (g/kg)	2	27,7	10	34,1	2ème mois		6ème mois		9ème mois		10ème mois			
Multipares	10382		TP (g/kg)	2	27,5	10	34,7	27,7		29,5		31,6		34,1			
								27,5		30,0		32,0		34,7			

La proportion de caséines dans les protéines totales faible lors de la première semaine (environ 50 %) découle des teneurs très élevées en protéines du lactosérum, particulièrement en immunoglobulines (REMOND, 1987).

Dans la phase descendante de lactation (2^{ème} mois à la fin de lactation), le gain de TP par mois de lactation serait compris entre 0,8 et 1,0 g/kg (COULON et al, 1988 a ; AGABRIEL et al, 1990). REMOND (1984) estime que l'augmentation de la teneur du lait en protéines dans la deuxième partie de la lactation est, au moins en partie, due à la gestation car la remontée du taux de M.S. dégraissée du lait produit par des vaches non gestantes est plus tardive et plus faible. Pour PARKHIE et al (1966), cités par REMOND (1984), la teneur moyenne en protéines sur la lactation est d'autant plus élevée que la gestation chevauche plus longtemps la lactation.

Le pourcentage de caséines dans les protéines totales diminue après le 2^{ème} mois de lactation. Cette diminution est peu importante et n'excède pas 1 % (Ng KWAI HANG et al, 1982 ; REMOND, 1984 ; LE DORE et al, 1986).

L'évolution des teneurs des différentes caséines du lait est similaire à l'évolution du taux de caséines totales, avec un minima plus tardif pour la teneur en K-CN (3^{ème} mois) (Ng KWAI HANG et al, 1982).

L'évolution des teneurs des différentes protéines du lactosérum est plus variable : d'après les résultats de KROEKER et al (1985 a) et Ng KWAI HANG et al (1987), la teneur en β lg suit une courbe similaire à la courbe d'évolution du TP, ce qui correspond aux résultats de LARSON et KENDALL (1957), cités par FEAGAN (1979). La teneur en α la diminue rapidement pendant le 1^{er} mois puis nettement moins vite jusqu'en fin de lactation où elle atteint sa valeur minimale. Passé le stade colostrale, la teneur en immunoglobulines diminue jusqu'au 6^{ème} mois puis augmente à nouveau jusqu'en fin de lactation. La teneur en sérumbumine augmente fortement lors du 1^{er} mois de lactation puis reste relativement stable (tableau I.16).

Peu d'auteurs ont étudié les caractéristiques du caillé en fonction du stade de lactation. GRANDISON et al (1984) ne notent pas d'influence significative du stade sur le temps de coagulation durant les 5 premières semaines de lactation mais pour LINDSTROM et al (1984), les laits de 2^{ème} mois de lactation ont tendance à coaguler plus lentement. AURIOL (1961) et COULON et al (1988 a) observent une augmentation très rapide du temps de coagulation en début de lactation, puis plus lente jusqu'au 6^{ème} ou 7^{ème} mois. Au delà, le temps de coagulation diminue.

Pour GRANDISON et al (1984) la fermeté du coagulum est nettement plus forte à 1 semaine de lactation qu'à 5 semaines.

Ces résultats correspondent en général à l'évolution des teneurs en protéines et en caséines. Le temps de coagulation maximum est cependant nettement plus avancé en lactation que les teneurs en protéines et caséines minimales dans les essais d'AURIOL (1961) et COULON et al (1988 a).

II - Facteurs extérieurs à l'animal

II.1 - Saison et climat

Les variations saisonnières de composition du lait résultent de plusieurs effets : effet saison proprement dit (longueur du jour, température, humidité...), effet alimentation avec de gros écarts entre l'hiver et l'été, enfin effet stade de lactation, d'autant plus marqué que les vêlages sont plus groupés. L'effet global, c'est-à-dire les variations saisonnières enregistrées pour des troupeaux dont l'alimentation a varié au cours de l'année et les effets spécifiques de la température et de la photopériode seront abordés successivement.

II.1.1 - Variations saisonnières de la composition du lait

Les variations saisonnières du taux protéique, après prise en compte de l'effet du stade de lactation, entraînent des valeurs minimales pendant l'été (juillet-août), les valeurs maximums sont enregistrées à l'automne (octobre-novembre) (COULON et al, 1988 a ; AGABRIEL et al, 1990). L'amplitude de variation du TP atteint respectivement 1,4 et 2,1 g/kg. AGABRIEL et al (1990) notent également des valeurs faibles à la fin de l'hiver (janvier à mars), COULON et al (1988 a) enregistrent un maximum pour le TP en janvier. BRUHN et FRANKE (1977) ont étudié les laits de 15 troupeaux californiens recevant la même alimentation toute l'année, avec des vêlages étalés : les minimums de TP sont enregistrés de mai à août et les maximums de novembre à février. Pour JOURNET (1984), le taux de caséines minimum est observé soit en été (juillet-août), soit en fin d'hiver (mars-avril), le maximum la plupart du temps à l'automne (octobre-novembre) et parfois en janvier. L'amplitude moyenne de variation du taux de caséines est de 2,7 ‰ (1,4 à 4,7 ‰).

Les valeurs extrêmes de TP sont donc majoritairement obtenues pour les maximums à l'automne et pour les minimums pendant l'été.

La proportion de caséines dans les protéines totales varie relativement peu (1,5 %), la proportion maximale étant généralement observée en hiver (novembre à février) et la proportion minimale en octobre (JOURNET, 1984).

COULON et al (1988 a) signalent des variations très importantes du temps de coagulation non liées directement aux fluctuations de TP, avec 2 maxima en avril et juillet et 2 minima en février et mai. Toutefois l'absence de contrôle strict des conditions de mesure du temps de coagulation hypothèque l'interprétation de ses résultats.

II.1.2 - Effet de la température

Les essais menés sur l'influence de la température montrent que la production et la composition du lait ne varient pas entre 0° et 25°C (REMOND et JOURNET, 1987). D'HOOR et COULON (cités par COULON et al, 1988 b) estiment néanmoins que l'augmentation de la température ambiante, même dans la plage de confort thermique des vaches, pourrait avoir un effet propre défavorable à la richesse du lait.

Au delà de cette plage de température, les variations de composition du lait sont importantes. Entre 18°C et 38°C, le TP diminue de 4,6 ‰, le taux de caséines de 6,1 ‰ et la fermeté du caillé de 36 % (FEAGAN, 1979).

II.1.3 - Effet de la photopériode

Les minima des teneurs en protéines du lait se produisant presque toujours vers le solstice d'été et les maxima vers le solstice d'hiver, JOURNET (1984) estime probable que le facteur permettant d'expliquer l'évolution de la composition du lait soit la durée du jour. Pourtant BILODEAU et al (1989) n'observent pas d'effet significatif de la photopériode sur le TP. DELOUIS (1984) mesure une diminution des taux azotés en photopériode longue, mais l'effet de la durée d'éclairement quotidien n'est pas toujours significatif. PHILLIPS et SCHOFIELD (1989) ne notent pas d'effet significatif de la photopériode dans un essai alors que dans un autre le TP diminue de 0,9 ‰ pour une photopériode augmentée de 10 heures avec l'intensité lumineuse la plus forte. La réponse de la concentration en protéines à un éclairage supplémentaire n'intervient donc pas dans toutes les conditions. Il serait intéressant de pouvoir prendre en compte d'autres facteurs climatiques tels que l'humidité et la turbulence de l'air afin de préciser leur influence éventuellement complémentaire.

Tableau I.17 - Influence des infections mammaires sur les teneurs en protéines et les paramètres technologiques

Auteur Année	Conditions expérimentales	Caractère mesuré	Numération cellulaire ($\times 10^3$)			
			< 250	250 à 500	500 à 1000	> 1000
HAENLEIN 1973	Laits individuels Analyse sur quartiers 237 échantillons	TP (‰)	38,8	39,2	38,7	38,6
		Caséines (‰)	29,9	29,5	27,9	25,5
		PLS (‰)	8,9	9,6	11,5	13,0
		Nombre caséique	77,0	75,5	72,5	66,0
		pH	6,57	6,67	6,74	6,84
		% α S1-CN	48,2	46,4	43,0	38,8
		% β -CN	37,9	35,7	33,3	28,9
		% K-CN	5,7	7,0	7,9	8,1
		% β Ig	34,9	26,8	25,7	16,3
		% α la	31,9	33,1	28,5	19,9
		% Immunoglobuline	17,1	19,1	25,5	36,0
		% Séralbumine	16,0	20,9	20,3	27,8
		SCHULTZ 1977	cité par Serieys et Auclair 1984		<i>Lait Normal</i>	
Sodium (ppm)	436				603	
Chlore (ppm)	910				1470	
Potassium (ppm)	1725				1573	
Calcium (ppm)	1298				1243	
Phosphore inorganique	695				642	
FEAGAN 1979	Laits individuels Analyse sur quartiers		< 250	500 à 1000	> 1000	
		TP (‰)	36,1	35,9	35,6	
		Caséines (‰)	27,9	26,5	22,5	
		PLS (‰)	8,2	11,0	13,1	
		Nombre caséique	77	71	69	
		% α S1-CN	47,7	41,1	37,8	
		% β -CN	37,8	34,7	28,9	
		% K-CN	5,7	7,5	8,4	
		% β Ig	30,5	28,2	16,8	
		% α la	34,1	27,3	17,5	
		% Séralbumine	18,3	20,9	26,7	
% Immunoglobuline	17,1	23,6	38,9			
NG KWAI HANG 1982	Laits individuels 24405 échantillons		+ 1000 cellules			
		TP (‰)		+ 0,0011		
		Caséines (‰)		-0,0002		
		PLS (‰)		+ 0,0012		
	Nombre caséique		-0,0031			
GRANDISON 1986a	Laits de mélange 16 échantillons		46	556	937	1341
		Teneurs en β -CN (%)	0,54	0,52	0,5	0,48
			209	790	1602	2177
		pH	6,43	6,47	6,49	6,53
	Force du coagulum (g)	21,4	20,1	18,7	16,5	

II.2 - Facteurs pathologiques : les infections mammaires

Le facteur pathologique principal quant à l'ampleur de ses conséquences sur la composition physicochimique du lait est l'infection mammaire qui entraîne, par la présence de bactéries pathogènes mais aussi par la réaction inflammatoire de défense que cette infection déclenche, une perturbation profonde du fonctionnement de la glande et de la composition du lait produit (SERIEYS et AUCLAIR, 1984).

La plupart des auteurs ayant étudié l'influence du nombre de cellules ne notent pas d'effet significatif sur la teneur en protéines totales (tableau I.17). Par contre, la répartition des protéines totales entre caséines et protéines du lactosérum est fortement influencée : la teneur en caséines diminue fortement : - 15 à - 20 % entre un lait à moins de 250 000 leucocytes et un lait à plus de 1 million de leucocytes alors que la teneur en protéines du lactosérum augmente; le nombre caséique diminue de plus de 7 points (HAENLEIN et al, 1973 ; FEAGAN, 1979).

L'évolution relative des différentes caséines et protéines du lactosérum est différente suivant les auteurs : HAENLEIN et al (1973) ; FEAGAN (1979) mesurent une forte diminution du pourcentage d' α S-CN alors que KROEKER et al (1985 b) et Ng KWAI HANG et al (1987) notent une augmentation du pourcentage ou de la teneur en α S-CN. La diminution du pourcentage de β -CN est systématique avec l'augmentation de la teneur en cellules, elle peut atteindre 10 points (tableau I.17). Le pourcentage de K-CN augmente avec le nombre de leucocytes (HAENLEIN et al, 1973 ; FEAGAN, 1979 ; KROEKER et al, 1985 b).

Les pourcentages de β Ig et d' α la dans les protéines du lactosérum diminuent fortement pour les laits à forte numération cellulaire : - 15 à - 20 points et - 12 à - 17 points respectivement (HAENLEIN et al, 1973 ; FEAGAN, 1979) mais l'augmentation de la teneur en protéines du lactosérum totales concourt à une augmentation de leur teneur respective (Ng KWAI HANG et al, 1987). Les pourcentages relatifs de séralbumine et d'immunoglobulines augmentent de 8 à 12 points pour la séralbumine contre 19 à 21 points pour les immunoglobulines.

La composition protéique d'un lait mammitique est donc fortement modifiée : sa teneur en caséines diminue, la β -CN étant la plus touchée, sans doute par suite de sa sensibilité plus forte à la protéolyse. La teneur en protéines du lactosérum augmente et la nature de celles-ci diffère fortement d'un lait normal : les immunoglobulines peuvent représenter jusqu'à plus de 35 % des protéines du lactosérum et la séralbumine plus de 25 % pour des laits dont le dénombrement leucocytaire dépasse 1 million de cellules.

Le pH des laits à forte numération cellulaire augmente : + 0,1 à + 0,2 point de pH (HAENLEIN et al, 1973 ; GRANDISON et FORD, 1986 a). Les teneurs en minéraux du lait

subissent également des modifications : les plus importantes concernent les teneurs en Na et en Cl qui augmentent fortement, les teneurs en K, Ca et Pi diminuent (KITCHEN, 1981 ; SCHULTZ, 1977 cités par SERIEYS et AUCLAIR, 1984).

Les modifications de composition physicochimique des laits mammiteux entraînent des modifications de leur aptitude fromagère : augmentation du temps de coagulation (LINDSTROM et al, 1984 ; GRANDISON, 1986 b) et réduction de la fermeté du caillé (GRANDISON et FORD, 1986 a ; GRANDISON, 1986 b). LAWRENCE (1988) estime la chute du rendement fromager à environ 2 % lorsqu'on atteint des dénombrements cellulaires de 1 million de leucocytes.

II.3 - Alimentation

II.3.1 - Nature de la ration de base

Plusieurs auteurs ont tenté d'appréhender l'effet propre de différentes rations de base sur le taux protéique du lait. A partir d'essais en majorité français, HODEN et al (1984) ont comparé les teneurs en protéines de laits produits avec les trois fourrages les plus couramment utilisés :

L'ensilage de maïs permet de produire des laits plus riches en protéines que l'ensilage d'herbe : 0,3 à 3 ‰ (+ 1,7 ‰ en moyenne). Cette influence favorable de l'ensilage de maïs est également mise en évidence par COULON et BINET (1987). Pour LE DORE et al (1986), si le TP est supérieur de 1,3 ‰, le nombre caséique du lait produit à partir d'ensilage de maïs est plus faible de 0,3 point comparativement à l'ensilage d'herbe. Cet effet positif de l'ensilage de maïs s'explique pour partie par ses apports énergétiques plus élevés.

Le foin permet en général de produire un lait plus riche en protéines que l'ensilage d'herbe : + 0,6 ‰ en moyenne pour HODEN et al (1984) ; + 1,4 ‰ dans les essais de LE DORE et al (1986) mais le nombre caséique du lait produit à base de foin est plus faible de 0,6 point. GAREL et al (1990) notent un écart de TP de + 1,8 ‰ en faveur des rations à base de foin. Cet écart se répercute sur les aptitudes technologiques : amélioration du temps de prise d'1 mn et du rendement fromager mesuré à J+8 de 0,6 kg/100kg par rapport aux valeurs obtenues pour une ration à base d'ensilage d'herbe avec conservateur. En cas d'association ensilage d'herbe - foin, les rations les plus riches en ensilage d'herbe présentent des TP inférieurs de 0,6 ‰, variation sans répercussions significatives sur le rendement fromager (GAREL et al, 1990).

Lorsque les vaches reçoivent en ration hivernale de l'ensilage d'herbe ou du foin, le TP augmente à la mise à l'herbe d'1,7 à 5,5 ‰ (augmentation moyenne de 3,5 ‰). Après

ensilage de maïs, il augmente en moyenne de 0,7 ‰. L'augmentation est intermédiaire pour les rations mixtes herbe-maïs : + 2,1 ‰ en moyenne (HODEN et al, 1984). Le TP est d'autant plus amélioré qu'il était faible en hiver, cette amélioration étant due à une augmentation des apports énergétiques mais également aux modifications fermentaires entraînées dans le rumen. Les résultats de VIGNON et al (1978) corroborent ces observations.

Les variations du TP à la mise à l'herbe sont fortement influencées par les facteurs climatiques et les conditions de pâturage. Dans les essais de COULON et al (1988 b) l'augmentation la plus forte du TP (+ 2,5 ‰) est obtenue dans le cas d'une mise à l'herbe totale avec mise à disposition de foin. Sans fourrage complémentaire, le TP est amélioré de 2,2 ‰ alors que dans le cas d'une mise à l'herbe partielle avec distribution de foin la nuit, le gain de TP n'est que de 0,8 ‰.

L'augmentation est très forte pour l'azote soluble (55 à 70 % de l'augmentation du TP) et pour la fraction ANP qui peut augmenter jusqu'à 25 % lors de la première semaine de pâturage (VIGNON et al, 1978).

La période de pâturage modifie les teneurs en protéines du lait. LE DORE et al (1986) notent une amélioration d'1,2 g/kg de la teneur en protéines des laits issus de pâturage d'automne par rapport au pâturage de printemps, le nombre caséique ne variant pas.

L'espèce pâturée joue également sur la composition protéique du lait et son aptitude fromagère. Les variations de TP n'excèdent pas 2 ‰ entre les différentes espèces étudiées (HODEN et al, 1984 ; GRANDISON et al, 1985 a ; LE DORE et al, 1986 ; VERTES et HODEN, 1989). L'absence de mesure des valeurs alimentaires et des quantités ingérées ne permet pas de conclure quant à un effet d'apports énergétiques différents où à un effet propre de l'espèce.

II.3.2 - Apports énergétiques

a) Niveau des apports énergétiques

* Pour des rations hivernales

Le niveau des apports énergétiques peut s'exprimer de différentes manières :

Le passage d'une sous alimentation de 20 % à des apports énergétiques supérieurs de 40% aux besoins permet d'augmenter la teneur en MAT du lait de 1 à 1,5 g/kg (JOURNET et REMOND, 1980). Une augmentation plus faible des apports (+ 10 %) n'a pas d'influence significative sur le taux protéique (LE DORE et al, 1986) (tableau I.18).

**Tableau I.18 - Influence des apports énergétiques sur les teneurs en protéines du lait
Niveau des apports énergétiques pour des rations hivernales**

Auteur Année	Conditions expérimentales	Traitement	TP (ou MAT)	Nombre caséique
JOURNET 1980	Synthèse 7 essais	-20% à + 40 % des besoins	+ 1,0 à + 1,5 g/kg MAT	77,8 à 77,6 % Caséines dans les MAT
REMOND 1985	Synthèse 38 essais	+ 1 UFL	0,51%	variation de moins de 1 %
		Niveau apports bas à moyen Niveau apports moyen à haut	+ 0,49% + 0,36%	
	Rook et Line 1960, 1961	Niveau apports bas à haut		
LEDORE 1986	Laits individuels 169 échantillons provenant de 9 troupeaux expérimentaux	+ 10 % des apports	NS	0,08%
CHENAIS 1988	Laits individuels 2 années 130 VL ensilage de maïs	Concentré Bilan UFL 3,5 kg/j - 0,3 5,5 kg/j + 0,3 6,2 kg/j + 0,7	29,3 g/kg 30,6 g/kg 31,5 g/kg	
DURAND 1988	Enquête 344 exploitations Bretagne	178 g concentré/kg de lait 176 g concentré/kg de lait 147 g concentré/kg de lait	32,3 g/kg 31,6 g/kg 29,2 g/kg	
MARTIAL 1988	Laits individuels 998 VL foin-regain Franche Comté	Niveau bas 2,1 UFL concentré Témoin 3,4 UFL concentré Témoin 2,9 UFL concentré Niveau haut 4,3 UFL concentré	32,1 g/kg 32,0 g/kg 32,4 g/kg 31,8 g/kg	
	Laits individuels 665 VL ensilage d'herbe Vosges	Niveau bas 1,8 UFL concentré Témoin 3,0 UFL concentré Témoin 3,1 UFL concentré Niveau haut 4,8 UFL concentré	30,0 g/kg 30,4 g/kg 29,4 g/kg 30,3 g/kg	
PFLIMLIN 1988	Laits individuels 271 VL ensilage de maïs	2,1 kg/j concentré 3,4 kg/j concentré	32 g/kg 32 g/kg	
PHIPPS 1988	Laits individuels 179 VL ensilage d'herbe	3 kg/j concentré 6 kg/j concentré	27,9 g/kg 29,7 g/kg	
	1/3 ens. d'herbe + 2/3 ens. maïs	3 kg/j concentré 6 kg/j concentré	29,4 g/kg 30,1 g/kg	
	4/5 ens. d'herbe + 1/5 paille	3 kg/j concentré 6 kg/j concentré	27,7 g/kg 29,3 g/kg	
LAURENT 1989a	Laits individuels 32 VL ensilage de maïs	Recommandations 3,1 kg/j concentré Niveau élevé 5,4 kg/j concentré	30,5 g/kg 30,9 g/kg	86,4 86,4
LAURENT 1989b	Laits individuels 37 VL ensilage de maïs	Recommandations 5,9 kg/j concentré Niveau élevé 8,2 kg/j concentré	32,3 g/kg 33 g/kg	
VERTES 1989a	Laits de mélange 12 éch. Le Pin au haras	Niveau bas Bilan : - 0,9 UFL Optimum Bilan : + 0,5 UFL	27,3 g/kg 31,1 g/kg	78,5 78,7

DURAND et al (1988) expliquent une partie des variations de TP observées entre les exploitations à faible TP et celles à fort TP par la quantité de concentré distribué au litre de lait. En complément à des fourrages de bonne qualité (maïs ensilage) distribués à volonté, l'augmentation de la quantité de concentré a des effets très variables d'un essai à l'autre : de 0 à + 0,9 g de TP par kg de concentré supplémentaire (CHENAIS et KEROUANTON, 1988 ; LAURENT et al, 1989 a et b ; PFLIMLIN et MORHAIN, 1988) (tableau I.18). Les niveaux de production laitière et les quantités de concentré par litre de lait peuvent expliquer en partie la variabilité des résultats obtenus. Pour des rations à base d'ensilage d'herbe de qualité médiocre, la distribution de 3 kg de concentré supplémentaire permet d'améliorer significativement le TP du lait : + 0,5 à 0,6 g par kg de concentré (PHIPPS et al, 1988).

Traduite en UFL supplémentaire, on observe la même variabilité des effets de la distribution de concentré. Pour des VL nourries à base de foin + regain, le niveau de complémentation n'a pas eu d'effet sur le TP dans les essais de MARTIAL (1988). Pour des vaches nourries à base d'ensilage d'herbe, l'augmentation d'1 UFL de concentré permet d'augmenter le TP en moyenne de 0,35 g/kg. REMOND (1985) estime en moyenne à 0,5 g/kg l'augmentation du TP par UFL supplémentaire. La variabilité des coefficients de réponse d'un essai à l'autre est très élevée et elle traduit toujours des quantités d'énergie supplémentaire calculées et non pas mesurées.

La courbe de réponse du TP aux apports supplémentaires d'énergie n'est pas linéaire : le TP croît plus vite lorsqu'on se situe en dessous des besoins qu'au dessus. La substitution du concentré au fourrage varie en effet en fonction du niveau des apports d'aliment concentré par rapport aux besoins. Pour un apport d'1 kg de concentré supplémentaire, les apports énergétiques totaux (fourrage + concentré) s'accroissent d'autant moins vite que les apports deviennent excédentaires par rapport aux besoins. Le coefficient de substitution varie également en fonction de la nature du fourrage : plus le fourrage est riche, plus la substitution sera importante.

De plus, les pratiques cachent aussi des différences d'apports azotés : dans les essais de VERTES et al (1989 a) le passage d'une ration médiocre à une ration de bonne qualité améliore le TP de 3,7 g/kg et le taux de caséine de 3 g/kg.

La variation du pourcentage de caséines dans les protéines totales ou dans les MAT en fonction du niveau des apports énergétiques n'excède pas 1 point (JOURNET et REMOND, 1980 ; REMOND, 1985 ; LE DORE et al, 1986 ; LAURENT et al, 1989 a ; VERTES et al, 1989 a).

Dans les essais de LAURENT et al (1989 b), le niveau d'apport de concentré n'a pas d'incidence sur les propriétés physiques, les paramètres technologiques et le rendement fromager du lait. Seule la proportion d' α S-CN diminue significativement avec l'apport de

**Tableau I.19 - Influence des apports énergétiques sur les teneurs en protéines du lait
Niveau des apports énergétiques au pâturage**

Auteur Année	Conditions expérimentales	Traitement	TP (ou MAT)	Nombre caséique
ROGERS et al. 1979 cité par ROGERS 1982	Affouragement en vert : Herbe jeune	Ingestion : - 1/3	-3 g/kg	
BATLER 1983 cité par MURPHY		3,0 kg/j concentré 5,5 kg/j concentré 8,0 kg/j concentré	26,7 g/kg 27,8 g/kg 29 g/kg	
GRAY 1987	Laits individuels 12 VL	Pâturage à volonté Pâturage réduite d'1/3	39,7 g/l 37,7 g/l	
FRASER 1988	Laits individuels 154 VL	2,62 VL/ha 2244 kg concentré 2,13 VL/ha 992 kg concentré	32,6 g/kg 31,0 g/kg	
LEGARTO 1988	Laits individuels Pâturage+complément Maïs	1985 22,5 ares pâturage/VL 18,3 ares pâturage + 5,4 kg MS Maïs 1986 27,6 ares pâturage/VL 22,6 ares pâturage + 5,2 kg MS Maïs 1987 24,9 ares pâturage/VL 20,9 ares pâturage + 4,3 kg MS Maïs	30,5 g/kg 30,7 g/kg 30,2 g/kg 31,0 g/kg 30,8 g/kg 31,1 g/kg	
PFLIMLIN 1988	Laits individuels 98 VL Pâturage + ensilage d'herbe	0,4 kg/j concentré 2 kg/j concentré	30,1 g/kg 30,6 g/kg	
VERTES 1989b	Laits de mélange 18 échantillons	Chargement normal Chargement fort (115 % optimum) Chargement très fort (130 % optimum)	30,1 g/kg 29,8 g/kg 29,5 g/kg	81,9% 82,4% 81,9%
	Laits de mélange 8 échantillons Pâturage de Dactyle	Complémentation : + 2 UFL	+ 0,2 g/kg	1,8%

concentré (- 1,9 point). VERTES et al (1989 a) mesurent une nette amélioration des paramètres technologiques et du rendement frais corrigé (+ 1,3 kg/100 kg) lorsque les VL passent d'une ration médiocre à une ration de bonne qualité.

* Au pâturage

La réduction de la surface offerte aux vaches laitières de 20 à 33 % réduit la teneur en protéines des laits de 0,6 g/kg à 3 g/kg ((ROGERS et STEWART, 1982 ; GRAY et MACKENZIE, 1987 ; VERTES et HODEN, 1989 b), mais le pourcentage des caséines dans les protéines totales n'est pas significativement influencé par le chargement (tableau I.19).

L'augmentation du chargement, accompagnée d'une forte augmentation du concentré distribué entraîne un accroissement du TP (FRASER et LEAVER, 1988). Avec un chargement équivalent entre traitements, la distribution de concentré supplémentaire au pâturage entraîne une augmentation du TP du lait de 0,3 à 0,5 g par kg de concentré (BATLER, 1983 cité par MURPHY ; PFLIMLIN et MORHAIN, 1988). VERTES et HODEN (1989 b) n'observent qu'une faible variation du TP avec l'apport de 2 UFL supplémentaires mais le taux de caséines augmente nettement plus : + 0,35 g par UFL ce qui se traduit par une forte augmentation du nombre caséique. Dans cet essai, bien que la vitesse de raffermissement des caillés soit plus faible pour les laits produits avec le supplément énergétique, la fermeté des caillés est nettement améliorée. Le rendement fromager frais n'est que très peu influencé.

La distribution d'ensilage de maïs en complément du pâturage permet d'augmenter le taux protéique du lait, surtout si les conditions de pâturage sont difficiles. Cette augmentation est relativement faible : + 0,1 g/kg MS de maïs distribué (LEGARTO et RIALLAND, 1988).

* Conclusion

L'augmentation des apports énergétiques par le biais de la distribution de concentré supplémentaire permet d'augmenter le taux protéique, mais la réponse varie en fonction de la qualité des fourrages distribués, de la mise à disposition de ces fourrages et de la couverture des besoins des animaux. L'amélioration du TP se situe aux environs de 0,5 g par UFL ou kg de concentré supplémentaire.

b) Nature des apports énergétiques

Les essais sur l'influence de la nature des apports énergétiques ont surtout porté sur trois types de matière première : la comparaison des concentrés riches en paroi avec ceux riches en amidon d'une part, et l'incorporation de matières grasses dans les rations d'autre part.

Le taux protéique du lait est amélioré avec les pulpes de betteraves : + 0,2 à + 0,7 ‰ pour les deux essais de comparaison pulpes-orge réalisés par CASTLE et al (1981) mais les écarts ne sont pas significatifs.

En début de lactation les écarts de taux protéique observés entre les concentrés à base de paroi et ceux à base d'amidon sont faibles, en moyenne 0,1 ‰ pour 45 essais, en faveur des laits produits avec des concentrés de type amidon (COULON et al, 1989). En milieu de lactation, l'écart est toujours favorable aux concentrés à base d'amidon et atteint 0,4 ‰ mais reste variable d'un essai à l'autre : le taux protéique est supérieur avec le concentré amidon dans 20 essais sur 29. Cette supériorité du concentré amidon est d'abord liée à la diminution de la teneur en cellulose brute. Elle est un peu plus importante avec les rations à base d'ensilage d'herbe (0,5 ‰).

L'incorporation de suif dans la ration réduit le TP d'1 ‰ pour le suif protégé et de 0,7 ‰ pour le suif non protégé (MURPHY et MORGAN, 1983). MORAND-FEHR et al (1986), dans une synthèse de 70 essais, observent une diminution du TP dans 71 % des cas où des matières grasses sont incorporées dans la ration. Avec des graisses animales ou des huiles végétales le pourcentage de chutes est de 72 % alors qu'il est de 76 % avec les graines oléagineuses. Cette diminution du TP est enregistrée dès l'apport de faibles quantités de matière grasse. Toutefois, elle ne semble pas s'accroître avec l'augmentation des apports. Cette diminution du TP, qui peut atteindre 3 ‰, varie en fonction des différents types de ration de base et de matière grasse introduite.

II.3.3 - Apports azotés

a) Niveau des apports azotés

ROOK et LINE (1962) ont montré dans deux essais que l'accroissement des apports azotés alimentaires de 80 % à 165 % des besoins n'avait pas d'influence sur la teneur en protéines du lait. Par contre la teneur en A.N.P. du lait augmente de manière importante avec les apports azotés. Le pourcentage de caséines dans les protéines totales varie peu et

Tableau I.20 - Influence des apports azotés sur les teneurs en protéines du lait

Auteur Année	Conditions expérimentales	Traitement	Taux protéique	ANP (% MAT)	Nombre caséique
ROOK et LINE 1962	Laits individuels : 8 VL en carré latin ration à base de foin	80 % Besoins	30,5 g/kg	3,7	80,7
		100 % Besoins	30,7 g/kg	4,4	79,4
		125 % Besoins	30,6 g/kg	5,2	78,9
		165 % Besoins	30,5 g/kg	6,5	79,7
JOURNET 1983	Laits individuels début de lactation ensilage de maïs	40 VL Fourrage restreint	95 g PDI/kg MS	33,1 g/kg	
			113 g PDI/kg MS	33,0 g/kg	
		48 VL Fourrage à volonté	86 g PDI/kg MS	31,1 g/kg	
			102 g PDI/kg MS	32,2 g/kg	
REMOND 1985	Synthèse 21 essais alimentation restreinte 37 essais alimentation à volonté	+ 1 point de MAT	+ 0,07 g/kg		
		+ 1 point de MAT	+ 0,18 g/kg		
LE DORE 1986	Laits individuels provenant de 9 troupeaux expérimentaux 169 éch.	+ 10 % des apports	NS	NS	-0,07%
DELGADO 1989	Laits individuels : 12 VL en carré latin Apports isoénergétiques	15 % Protéines brutes	29,4 g/kg		
		15 % Protéines protégées	29,3 g/kg		
		18 % Protéines brutes	29,4 g/kg		

ne semble pas directement lié aux différences d'apports azotés de la ration (tableau I.20). Ces résultats sont en accord avec ceux d'HOLMES et al (1956) et CASTLE et WATSON (1969) cités par REMOND (1985), qui notent une légère diminution de la proportion des caséines dans les M.A.T., celle-ci disparaissant quand la teneur en caséines est rapportée à la teneur en protéines totales.

LE DORE et al (1986) et DELGADO et RANDEL (1989) confirment dans deux essais la non variation du taux protéique du lait en fonction du niveau d'apports azotés. Avec un supplément d'apports faibles (+ 10 %), LE DORE ne mesure pas d'influence significative sur la teneur en A.N.P. du lait mais note une diminution du nombre caséique.

Néanmoins la réponse du taux protéique aux apports azotés varie en fonction de la disponibilité des apports énergétiques. Lorsque le fourrage est offert en quantité limitée, l'augmentation des apports azotés n'a que peu d'influence sur le TP : REMOND (1985) dans une synthèse de 21 essais note une amélioration de 0,08 g de TP par point de M.A.T. supplémentaire alors que JOURNET et al (1983) ne mesurent pas de variation du TP. Par contre, lorsque les fourrages sont offerts à volonté, le TP augmente avec les apports azotés de la ration : REMOND (1985) estime cette augmentation à 0,18 g de TP par point de M.A.T. et JOURNET et al (1983) à 0,07 g de TP par gramme de PDI (tableau I.20). La mise à disposition à volonté des fourrages permet, dans le cas d'une augmentation des apports azotés, un accroissement des quantités ingérées par les vaches laitières et donc des apports énergétiques.

b) Nature des apports azotés

La nature des protéines apportées par le concentré ne modifie pas significativement, à même niveau d'apports azotés, les teneurs en protéines du lait : dans un essai comparant un tourteau de soja-colza et un tourteau d'arachide, JOURNET et al (1983) observent un TP supérieur de 0,8 g/kg pour le lait produit à partir du tourteau de soja-colza, écart non significatif. Dans une synthèse de 8 essais, REMOND (1985) ne met pas en évidence de liaison entre la nature des protéines complémentaires distribuées et les variations de taux protéique.

Par contre, l'apport d'azote fermentescible sous forme d'urée à des rations pauvres en azote à base d'ensilage de maïs provoque un accroissement du TP du lait : en moyenne 0,13 g/kg pour un point de MAT supplémentaire (REMOND, 1985 : synthèse de 6 essais) et 0,03 g/kg pour un gramme de PDI supplémentaire (JOURNET et al, 1983). Cette augmentation du TP est directement liée à une augmentation des quantités ingérées.

Pour REMOND (1985), la complémentation de la ration avec des aliments riches en protéines protégées ne semble pas avoir d'influence sur le taux protéique du lait, bien que FALDET et al (1989) estiment que l'augmentation du TP (+0,9 %) pour des rations riches en protéines protégées supplémentées en méthionine+lysine provienne en grande partie de la part accrue des protéines non dégradées dans le rumen.

Les essais d'infusion sanguine ou abomasale montrent que dans la plupart des cas il n'y a pas un seul acide aminé limitant (RULQUIN et CHAMPREDON, 1987 ; revues de MORHAIN, 1978 ; BRUN-BELLUT et al, 1984 et TANAN, 1990). Les mélanges d'acides aminés dits essentiels (méthionine - lysine - thréonine...) ou de caséines provoquent une augmentation des quantités de protéines synthétisées, principalement due à un accroissement du TP (1 à 2 g/kg) (CLARK et al, 1978 ; ORSKOV et al, 1977 cités par BRUN-BELLUT et al, 1984 ; RULQUIN et CHAMPREDON, 1987 ; TANAN, 1990).

Les essais zootechniques consistant à apporter un ou des acides aminés dans la ration montrent que, là encore, il ne semble pas y avoir un seul acide aminé limitant mais plusieurs. L'accroissement de TP pour des apports de lysine et méthionine protégées varie en fonction de la carence induite par le fourrage et le complément azoté distribué (TANAN, 1990).

Le pourcentage de caséines dans les MAT ou dans les protéines totales n'est pas modifié par la nature des apports azotés (REMOND, 1985).

II.3.4 - Aliments complémentaires

Par suite d'une augmentation des apports énergétiques et/ou de l'ingestion, le TP est amélioré avec la distribution de betteraves (+ 0,4 à + 1,3 ‰ pour des apports représentant 15 à 40 % de la M.S.) et l'incorporation de mélasses dans la ration (+1 à + 4 ‰ pour un taux d'incorporation de 16 à 48 %) (REMOND, 1984 ; SUTTON, 1989).

Distribuées à raison d'environ 15 %, les pulpes de betterave n'ont pas d'effet significatif sur le TP mais le détériorent (- 0,2 à - 0,5 ‰) lorsque les apports atteignent plus de 40 % de la ration (HODEN et al, 1984 : 2 essais).

Le lactosérum, distribué à raison de 2 à 3 kg augmente le TP en moyenne de 1 ‰ (7 essais). Cet effet serait en partie dû à la persistance plus faible de la production laitière mais également à un effet propre sur le TP (HODEN et al, 1984).

Le taux protéique du lait n'est que très faiblement influencé par l'incorporation de drèches dans la ration (- 1 à + 0,3 ‰) (9 essais).

II.3.5 - Conclusion

Parmi les facteurs alimentaires influençant le taux protéique du lait, le niveau des apports énergétiques est prépondérant, qu'il agisse directement (quantité d'apports) ou par le biais d'aliments naturellement riches en énergie (ensilage de maïs, herbe jeune, betteraves, mélasses...). La réponse est en moyenne de 0,5 g/kg de protéines par UFL supplémentaire, lorsqu'on se situe autour des besoins. L'influence des apports énergétiques est d'autant plus forte que les apports sont fortement réduits par rapport aux besoins des animaux (jusqu'à - 2,7 ‰ pour un déficit de 4 UFL) alors qu'au delà des besoins la réponse du TP est moins forte.

Les apports azotés n'ont pas d'influence directe sur le TP du lait, leur éventuel effet favorable provient sans doute d'une augmentation de l'ingestion quand le fourrage est de bonne qualité et distribué à volonté.

La nature des apports énergétiques ou azotés n'a que peu d'influence sur la teneur en protéines du lait, hormis les matières grasses qui détériorent dans presque tous les cas le TP du lait.

Le pourcentage des caséines dans les protéines totales est très peu influencé par les apports énergétiques et azotés.

Seuls LAURENT et al (1989 b) et VERTES et al (1989 a et b) ont étudié l'influence du niveau des apports sur les paramètres technologiques et le rendement fromager. Lorsque les apports énergétiques n'ont qu'une faible influence sur le TP, les paramètres technologiques et le rendement fromager ne sont pas significativement modifiés alors qu'ils sont nettement améliorés dans le cas où la modification des apports énergétiques et azotés entraîne un fort accroissement du TP.

III - Conclusion

Parmi les facteurs de variation des teneurs en protéines du lait, le génotype de la vache laitière, d'une part, et au travers de celui-ci la race, le stade de lactation, d'autre part, sont ceux ayant le plus d'influence.

Les écarts de TP entre races peuvent atteindre jusqu'à 8 g/kg (comparaison Jersiaise-Frisonne) et à l'intérieur d'une race les différences de potentiel génétique peuvent entraîner des écarts importants, représentant jusqu'à 10-15 % du TP moyen.

Le stade de lactation a un effet également très important sur les teneurs en protéines du lait puisque, sans tenir compte des valeurs très élevées en début de lactation, l'écart entre le minima (2ème mois) et le maxima (10ème mois) atteint en moyenne 6 à 8 g/kg.

Parmi les facteurs de variation extérieurs à l'animal, le niveau d'infection mammaire est indéniablement celui qui détériore le plus la composition en protéines des laits : le taux protéique n'évolue quasiment pas avec le nombre de leucocytes dans le lait mais le taux de caséines est fortement réduit : - 4 à - 5 g/kg dans le cas d'infections à plus d'1 million de cellules /ml.

Comparativement à ces trois premiers facteurs, l'alimentation a une influence beaucoup plus faible : elle agit essentiellement par le biais du niveau des apports énergétiques et l'on peut chiffrer la perte ou le gain de TP à environ 0,5 g/kg par UFL supplémentaire, autour des besoins de l'animal.

La saison a un effet propre sur le TP du lait, attribuable en partie à la photopériode, mais sans doute à d'autres facteurs non encore déterminés : l'amplitude de variation du TP peut atteindre 2 g/kg.

Enfin, le numéro de lactation agit lui aussi sur le taux protéique du lait mais son influence reste faible : - 0,2 à - 0,6 g/kg par lactation supplémentaire.

Hormis le cas des infections mammaires, le pourcentage de caséines dans les protéines totales est peu influencé par les différents facteurs de variation du taux protéique : le numéro de lactation peut entraîner une diminution du nombre caséique de 2 points pour les vaches les plus vieilles ; les autres facteurs ne modifient pas le pourcentage de caséines dans les protéines totales de plus de 1 %.

L'évolution des paramètres technologiques et/ou du rendement fromager sous l'influence des facteurs zootechniques correspond dans l'ensemble aux variations des teneurs en protéines du lait, hormis pour l'effet du numéro de lactation et de la saison où les résultats divergent. Cependant, les mesures ont été effectuées la plupart du temps sur de faibles effectifs et concernent peu d'essais notamment en ce qui concerne l'effet de l'alimentation.

MATERIEL ET METHODES

PREMIERE PARTIE

PROTOCOLES EXPERIMENTAUX

I - Interventions en élevage

I.1 - Modifications de l'apport énergétique

Parmi les facteurs alimentaires, l'apport énergétique est le principal paramètre influant sur le taux protéique. Les premiers essais ont été entrepris pour caractériser les réponses consécutives à toute modification de l'apport énergétique de la ration totale.

I.1.1 - Essais préliminaires

a) Objectif

A 4 reprises au cours d'un même cycle de production, l'ajustement des apports énergétiques aux recommandations INRA (augmentation ou réduction des apports) est réalisé au mieux afin de mesurer son influence sur l'évolution des teneurs en protéines du lait (caséines et protéines du lactosérum) et de leur nature.

b) Protocole

L'essai a concerné 21 troupeaux laitiers du sud de la Meurthe et Moselle. Ces 21 troupeaux sont soumis à un relevé systématique des paramètres caractérisant l'alimentation, le niveau génétique, la répartition des vélages et l'état sanitaire des vaches laitières.

Quatre périodes sont retenues afin d'étudier l'influence du niveau des apports énergétiques en ration hivernale et au pâturage pour deux types de situation dominante : soit avec un niveau d'apport énergétique satisfaisant (hiver et mise à l'herbe), soit avec un niveau d'apport énergétique limitant (fin d'hiver et été) (figure II.1).

Pour chacune de ces 4 séquences expérimentales, les interventions successives dans les exploitations sont :

- * Relevé des pratiques alimentaires (semaine 1)

Figure II.I - Schéma expérimental - Essais préliminaires

Choix des périodes :

	Alimentation hivernale	Pâturage
Niveau apports énergétiques satisfaisant	Hiver 25/01-15/02 Période 1	Mise à l'herbe 10/04-15/05 Période 3
Niveau apports énergétiques limitant	Fin d'hiver 15/03-10/04 Période 2	Eté 01/07-20/07 Période 4

Pour chaque période :

Semaine 1 Relevé des pratiques de l'exploitant

Semaines 2 ou 3 Modification de l'apport énergétique de la ration

* Périodes 1 et 2 :

Déficit énergétique : Distribution de 2 kg de concentré supplémentaire
Excédent énergétique : Réduction de la complémentation

* Période 3 :

Pas d'intervention

* Période 4 :

Déficit énergétique : Distribution de fourrage conservé ou passage sur repousses

Semaine 4 Mesure de l'incidence des modifications alimentaires

Tableau II.1. Caractéristiques des 21 élevages suivis lors des essais préliminaires

Variable		Moyenne (Ecart Type)	Modalités de répartition des élevages		
Nombre de vaches		57,8 (19)	< 50 7	50 à 65 10	> 65 4
Niveau de production C.L. (kg/VL/an)		6510 (895)	< 6000 5	6 à 7 000 11	> 7000 5
Taux protéique annuel moyen (g/l)		31,33 (0,70)	< 31 6	31 à 32 10	> 32 5
Index génétiques (18 élevages)	I lait	+ 480 (284)	< 400 7	400 à 700 6	> 700 5
	IQMMU	+ 15,2 (10,3)	< 10 4	10 à 20 7	> 20 7
	ITMMU	-0,48 (0,26)	< - 0,6 5	- 0,6 à - 0,4 6	> - 0,4 7
Alimentation hivernale	-	Maïs (+ 80 %) 8	Maïs Herbe 5	Maïs-Foin (+ 30 %) 8	
estivale	-	Pâtûre 9	Pâtûre+Fourrage conservé 9	Zéro pâturage 3	
Répartition des vêlages : Pourcentage de vêlages d'Août à Décembre		79,2%	> 90 % 6	70 à 90 % 11	< 70 % 4

* Modification de l'apport énergétique de la ration (semaines 2 ou 3)

Si un déficit énergétique est constaté, les apports sont augmentés de 2 kg de concentré pour les rations hivernales. En ration estivale, on procède à une distribution de fourrages conservés ou à un passage sur repousses.

Dans le cas d'un excédent énergétique, les apports sont réduits par diminution de la complémentation pour les rations hivernales.

A la mise à l'herbe, l'évolution de la composition du lait est étudiée sans intervention particulière.

* Mesure de l'incidence des modifications alimentaires sur la composition physicochimique des laits (semaine 4)

Au cours de chaque période, les mesures suivantes sont réalisées :

* En supplément au contrôle laitier mensuel, pour 10 des 21 troupeaux, mesure de la production laitière, du TB, TP et dénombrement leucocytaire en semaines 1, 3 et 4.

* Mesure du taux protéique, des teneurs en azote total, azote non protéique, azote soluble à pH 4,6 ; de la nature et du pourcentage des caséines et protéines du lactosérum, de la taille des micelles et du pH sur les laits de mélange de 2 traites pour chacun des 21 troupeaux suivis en semaines 1 et 4.

L'impact des interventions programmées sur l'apport énergétique est estimé par les variations de composition physicochimique du lait entre la semaine 1 et la semaine 4 de chaque période.

c) Caractéristiques des troupeaux

La taille moyenne des troupeaux est de 57,8 vaches avec un niveau de production de 6510 kg. Le taux protéique moyen annuel (31,3 g/l) est légèrement plus élevé que le TP moyen des laits collectés sur la même zone (+ 0,3 g/l). Le potentiel génétique taux (Index TMMU) est faible et négatif pour tous les élevages. Les vêlages ont lieu majoritairement pendant la fin de l'été et l'automne (tableau II.1). Les rations hivernales présentent une forte proportion de maïs distribué (plus de 50 % de la ration), à l'exception d'une exploitation.

I.1.2 - Maîtrise de l'apport énergétique

a) Objectif

L'objectif est de confirmer les variations de TP enregistrées en rations hivernales au cours des essais préliminaires mais avec des conditions optimales de contrôle de l'apport énergétique. Les troupeaux expérimentaux ont donc été choisis de façon à limiter au

Figure II.2 - Schéma expérimental - Essais principaux

	8 exploitations Groupe A	8 exploitations Groupe B
Phase 1 9 au 27/01	Relevé des pratiques de l'exploitant	
Phase 2 30/01 au 17/02	Ajustement des rations aux recommandations INRA	
Phase 3 20/02 au 10/03	Maintien des apports au niveau des recommandations	Distribution de 2,5 kg de concentré supplémentaire
Phase 4 13/03 au 31/03	Distribution de 2,5 kg de concentré supplémentaire	Retour à des apports correspondant aux recommandations

maximum toute interaction parasite (gestion des quotas - fin de stocks) sur le niveau des apports énergétiques.

b) Protocole

L'essai a concerné 16 troupeaux laitiers du sud-ouest de la Meurthe et Moselle. Tous les éléments concernant l'alimentation, le niveau génétique, la répartition des vêlages et l'état sanitaire des vaches laitières au cours de la période expérimentale sont enregistrés.

L'expérimentation se déroule en 4 séquences de 3 semaines chacune, de janvier à mars (alimentation hivernale). Les interventions sont programmées de la manière suivante (figure II.2) :

- 1) Relevé des pratiques alimentaires
- 2) Ajustement des rations aux recommandations INRA

Ce réajustement a consisté en :

- une distribution supplémentaire de fourrage (4 élevages)
- des apports de correcteur azoté (3 élevages)
- des apports de concentré énergétique (6 élevages)
- une modification complète du plan de complémentation (3 élevages)

- 3) Interventions sur l'apport énergétique

Pour une moitié des exploitations (groupe A), les apports sont maintenus au niveau des recommandations INRA.

Pour l'autre moitié (groupe B), la distribution de concentré est augmentée de 2,5 kg, soit 2 UFL au dessus des recommandations.

- 4) Interventions sur l'apport énergétique

Schéma inversé par rapport à la phase 3.

Pour le groupe B, les apports sont réduits pour revenir au niveau des recommandations INRA.

Pour le groupe A, les apports sont augmentés par la distribution de 2,5 kg de concentré supplémentaire.

Les mesures suivantes sont réalisées en 3^{ème} semaine de chaque phase pour les 16 troupeaux suivis :

* En supplément au contrôle laitier mensuel, mesure de la production laitière, du TB, TP et dénombrement leucocytaire.

* Mesure du taux protéique et du taux butyreux, des teneurs en azote total, azote non protéique, azote soluble à pH 4,6 ; de la nature et du pourcentage des caséines et protéines du lactosérum, de la taille micellaire, du pH, des teneurs en Ca, P et Na totaux, du temps de

**Tableau II.2. Caractéristiques des 16 élevages suivis
lors des essais principaux complémentaires**

Variable	Moyenne (Ecart Type)	Modalités de répartition des élevages		
Nombre de vaches	48,6 (12,3)	< 40 5	40 à 60 9	> 60 2
Niveau de production C.L. (kg/VL/an)	6871 (609)	< 6000 2	6000 à 7000 6	> 7000 8
Taux protéique annuel moyen (g/l)	30,67 (0,48)	< 30,5 3	30,5 à 31,0 10	> 31,0 3
Index génétiques				
I lait	+ 299 (374)	< 200 6	200 à 500 5	> 500 5
IQMMU	+ 8,8 (12,1)	< 5 6	5 à 15 4	> 15 6
ITMMU	- 0,40 (0,39)	< - 0,6 5	- 0,60 à - 0,20 6	> 0,20 5
Alimentation hivernale	Maïs (+ de 80%)	Maïs (+ de 80%) 6	Maïs-Herbe 7	Maïs-Foin (+de 30%) ou Ens. Herbe-Foin 3
Répartition des vêlages : Pourcentage de vêlages d'Août à Décembre	83,6%	> 90 % 4	80 à 90 % 6	< 80 % 6

coagulation et du temps d'obtention de la fermeté standard sur les laits de mélange de 2 traites pour chaque élevage.

* Sur les laits de grand mélange correspondant aux 2 groupes de 8 exploitations sont effectuées des analyses identiques à celles des laits de mélange par exploitation. De plus des fabrications fromagères pâte molle grandeur réelle sont réalisées en industrie et permettent de déterminer les rendements fromagers des laits (cf page 56).

L'impact des interventions est estimé par les variations de composition physicochimique des laits entre chaque prélèvement.

Les bilans énergétiques et azotés sont estimés en moyenne sur le troupeau à partir de l'évaluation des quantités de fourrage consommé et des quantités de concentré distribué.

c) Caractéristiques des troupeaux

Le niveau de production moyen est de 6 870 kg, avec un taux protéique moyen annuel de 30,7 g/l, inférieur à celui des laits collectés sur la même zone (- 0,2 g/l). Le potentiel génétique taux est faible et négatif pour tous les élevages sauf un. Les vêlages sont groupés sur la fin de l'été et l'automne. A l'exception d'une exploitation, les rations hivernales comportent toutes plus de 50 % de maïs ensilage (tableau II.2).

I.2 - Tri des vaches laitières sur le taux protéique

En dehors du niveau énergétique, le potentiel génétique est un paramètre pesant fortement sur la teneur en protéines du lait. Déterminé pour un animal par sa race et par les caractéristiques de son ascendance, il peut être orienté par la sélection.

a) Objectif

Une simulation de sélection est réalisée par un tri des vaches sur le TP pour étudier ses effets sur la composition protéique des laits. Afin que ce tri corresponde aux pratiques de l'exploitant, il concerne l'élimination de 10 % des vaches en lactation, soit environ un tiers du taux de réforme moyen annuel.

b) Protocole

L'élimination de 10 % des multipares en lactation est effectuée sur la base du taux protéique moyen de la précédente lactation, en écartant les vaches aux TP les plus faibles.

Dans les essais préliminaires, ce tri est effectué à chaque période en semaine 4, soit 4 simulations par exploitation, pour 10 des 21 troupeaux. Pour les essais "maîtrise de l'apport énergétique", il est effectué lors de la 2ème phase pour l'ensemble des 16 troupeaux, puis alternativement pour les 8 exploitations du groupe B (3ème phase) et pour les 8 exploitations du groupe A (4ème phase), soit 2 simulations par exploitation.

Afin de mesurer l'influence du tri sur la composition protéique des laits, le lait moyen d'une traite correspondant à l'ensemble du troupeau et le lait moyen correspondant aux 90% des vaches restant après tri sont comparés. Sur chacun de ces laits sont mesurés le taux butyreux, le taux protéique, les teneurs en azote total, azote non protéique et azote soluble à pH 4,6 ; la nature et le pourcentage des caséines et protéines du lactosérum, le pH et la taille des micelles. Lors des essais "maîtrise de l'apport énergétique", sont également mesurés le temps de coagulation et la fermeté des gels.

c) Caractéristiques des VL éliminées

Les 10 % de vaches laitières présentant les plus faibles TP ont, en moyenne, un taux protéique inférieur de 2,2 g/kg au taux moyen du troupeau. Cet écart varie de 1,0 g/kg à 3,2 g/kg en fonction de l'homogénéité du troupeau.

Les vêlages des vaches triées ont sensiblement la même répartition que celle observée pour le troupeau entier. Le numéro de lactation moyen est plus élevé de 0,7 par rapport au numéro de lactation moyen du troupeau. Ceci résulte principalement de l'absence des primipares dans les VL éliminées.

II - Essais de transformation fromagère

II.1 - Influence du niveau du TP sur la transformation fromagère

La teneur en protéines du lait, difficile à standardiser, influence fortement le rendement fromager. Les équations de prédiction du rendement fromager établies à partir des paramètres de composition du lait (MAUBOIS et al, 1970 ; BANKS et al, 1984 ; GILLES et LAWRENCE, 1985 ; TROUVE, 1987 ; ALEANDRI et al, 1989 ; GAREL et COULON, 1990) montrent qu'il est nécessaire d'ajuster les coefficients de régression en fonction des conditions de transformation.

a) Objectif

L'objectif est de quantifier l'influence de la teneur en protéines du lait sur le rendement fromager en fabrication de type pâte molle. Au delà du TP, la prise en compte de ses deux composantes : caséines et protéines du lactosérum doit permettre de préciser leur part respective dans la prédiction du rendement.

b) Protocole

Des fabrications pilotes sont réalisées avec des laits de mélange à 4 niveaux différents de teneur en protéines. Ces teneurs en protéines sont déterminées de manière à obtenir la gamme la plus large possible de TP.

Pour simuler au mieux les conditions industrielles et atténuer les perturbations éventuelles liées à un effet troupeau, les laits mis en fabrication sont constitués par les laits de mélange de 2 traites de 3 troupeaux pour chaque niveau de TP.

L'expérimentation se déroule en période hivernale, caractérisée par une alimentation stable et une faible fréquence de vélages. L'alimentation des 12 troupeaux (3 troupeaux pour chacun des 4 niveaux de TP) est identique pendant toute la période d'expérimentation. Quatre fabrications successives ont lieu au cours de cette période.

Les mesures suivantes sont effectuées sur chaque lait mis en fabrication :

- taux butyreux et taux protéique
- teneurs en N total, ANP et N soluble à pH 4,6
- nature et pourcentage des différentes caséines et protéines du lactosérum
- teneurs en Ca, P, Na et Mg totaux
- pH
- taille des micelles
- temps de coagulation et temps d'obtention de la fermeté standard

Les transformations fromagères de type pâte molle sont réalisées sur 40 kg de lait. Le protocole de ces transformations et les mesures effectuées sur les fromages sont présentés page 57.

c) Caractéristiques des troupeaux

Les laits mis en fabrication sont issus de troupeaux caractérisés par un niveau de production se situant entre 5 200 et 8 000 kg/VL/an et des vélages d'automne-hiver (60 %). Les laits présentent de faibles numérations cellulaires (193 000 leucocytes /ml) et

contamination bactérienne (34 000 germes /ml en moyenne sur les 4 prélèvements successifs).

II.2 - Influence de la saison sur la transformation fromagère

a) Objectif

L'objectif est d'établir, parmi les causes des problèmes de transformation rencontrés dans l'industrie en fin d'hiver, la part éventuelle des facteurs zootechniques par rapport aux paramètres de composition du lait et aux conditions de transformation.

Le contrôle précis des apports énergétiques par la mesure de l'ingestion des fourrages doit permettre de mesurer leur éventuelle variation avec la saison.

Le contrôle des conditions de transformation permet de s'affranchir de l'influence des conditions d'environnement lors de la transformation du lait en caillé.

b) Protocole

Des fabrications pilotes sont réalisées pendant 5 semaines successives (12 mars au 13 avril), respectivement sur les laits de mélange de 2 traites des troupeaux de 2 fermes expérimentales (ALPA et ENSAIA).

Pendant toute la durée de l'expérimentation, la ration de composition constante permet de couvrir les besoins des VL. Les quantités de fourrage distribué sont pesées quotidiennement et les refus deux fois par semaine. Les quantités de concentré consommé sont également enregistrées tous les jours.

Les mesures de composition physicochimique et des paramètres technologiques ainsi que les transformations fromagères sont identiques à celles décrites page 47.

c) Caractéristiques des troupeaux

Les niveaux de production des deux troupeaux expérimentaux sont de 7200 kg/VL/an et 7900 kg/VL/an. Les vêlages sont groupés sur la période d'août à décembre (70 % et 91%).

Le maïs constitue la base des deux rations : à l'ALPA il est consommé à raison de 9,5 kg MS avec 1 kg MS de foin de luzerne et 1,5 kg MS de drèches en moyenne par VL. La complémentation est effectuée à l'aide de tourteau de soja (1 kg) et de pulpes (2,2 kg). A l'ENSAIA, le maïs constitue 71 % d'une ration complète composée en outre de 6 % de

tourteau de colza, 8 % de tourteau de soja et 14 % d'un concentré de production à 1,02 UFL-185 et 170 g de PDIN et PDIE. Les VL consomment en moyenne 19 kg MS de cette ration.

Les laits mis en fabrication présentent de faibles numérations cellulaires (154 000 et 77 000 leucocytes /ml en moyenne pendant la durée de l'essai) et contamination bactérienne (17 000 et 58 000 germes /ml).

DEUXIEME PARTIE

METHODES D'ANALYSE

I - Origine des laits analysés

Les laits de mélange analysés correspondent au mélange des laits de l'ensemble des vaches en lactation, soit d'un même troupeau, soit de plusieurs troupeaux.

* Au niveau du troupeau

Les conséquences des interventions sur l'alimentation sont mesurées sur les laits de mélange de 2 traites de chacun des troupeaux suivis.

Les effets de l'élimination de 10 % des vaches laitières sont caractérisés par l'analyse des laits de mélange d'une traite correspondant d'une part à l'ensemble du troupeau et d'autre part aux 90 % des vaches restant après tri.

Dans les essais concernant l'influence de la saison sur la transformation fromagère, les laits analysés et mis en transformation sont constitués par les laits de mélange de 2 traites de chacun des troupeaux expérimentaux.

* Au niveau de plusieurs troupeaux

Les effets du niveau des apports énergétiques dans les essais "maîtrise de l'apport énergétique" sont également mesurés sur les laits de mélange de 2 traites des deux groupes d'exploitation, chacun constitué par 8 troupeaux.

Dans les essais concernant l'influence du niveau du TP sur la transformation fromagère, les laits analysés et mis en transformation sont constitués par les laits de mélange de 2 traites de 3 troupeaux.

II - Composition chimique des laits

II.1 - Taux protéique. Taux butyreux. Dénombrement leucocytaire

Un échantillon (20 ml + bichromate de potassium) de chacun des laits est stocké à 4°C avant analyse du taux protéique et du taux butyreux (analyseur IRMA) par le laboratoire interprofessionnel de Nancy-Pixérécourt.

Le nombre de cellules du lait est comptabilisé après coloration par un appareil Fossomatic.

II.2 - Teneur en matière sèche

La teneur en matière sèche du lait est mesurée après dessiccation d'environ 10 ml de lait entier à $103 \text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ pendant 24 heures (Annexe 1).

II.3 - Nature et teneur des matières azotées

Les teneurs en azote sont déterminées par la méthode de KJELDAHL, par distillation manuelle ou au moyen d'un appareil automatique Gerhardt (Vapodest 6) (Annexe 2).

Trois mesures sont réalisées :

* Azote total (Ntotal)

En dosage manuel, la prise d'essai est constituée de 2 ml d'une solution de lait entier dilué 2 fois. Quand l'échantillon est dosé automatiquement, la prise d'essai est de 2 ml de lait entier.

* Azote non protéique (ANP)

Le dosage est effectué soit manuellement sur 5 ml de filtrat obtenu après précipitation des protéines à l'acide trichloracétique 12 %, soit automatiquement sur 15 ml de ce même filtrat.

* Azote non caséique ou Azote soluble (Nsol.)

Le dosage est effectué sur 2 ml de surnageant issu de la centrifugation de 20 ml de lait après ajustement du pH à 4,6 (précipitation des caséines), dilué 2 fois.

A partir de ces mesures, sont calculées :

- la teneur en azote protéique : $N_{prot} = N_{total} - ANP$
- la teneur en azote caséique : $N_{cas} = N_{total} - N_{sol}$
- la teneur en azote des protéines du lactosérum : $N_{pls} = N_{sol} - ANP$

Les teneurs en azote total, ANP, azote protéique, azote caséique et azote des protéines du lactosérum sont exprimées en gramme d'azote par litre de lait.

Les teneurs en protéines et caséines, exprimées en gramme de protéines par litre de lait, sont obtenues par utilisation du coefficient correctif 6,38 correspondant à une teneur en azote des protéines du lait de 15,67 %, bien que la valeur de ce coefficient soit remise en cause par RIBADEAU-DUMAS et GRAPPIN (1989).

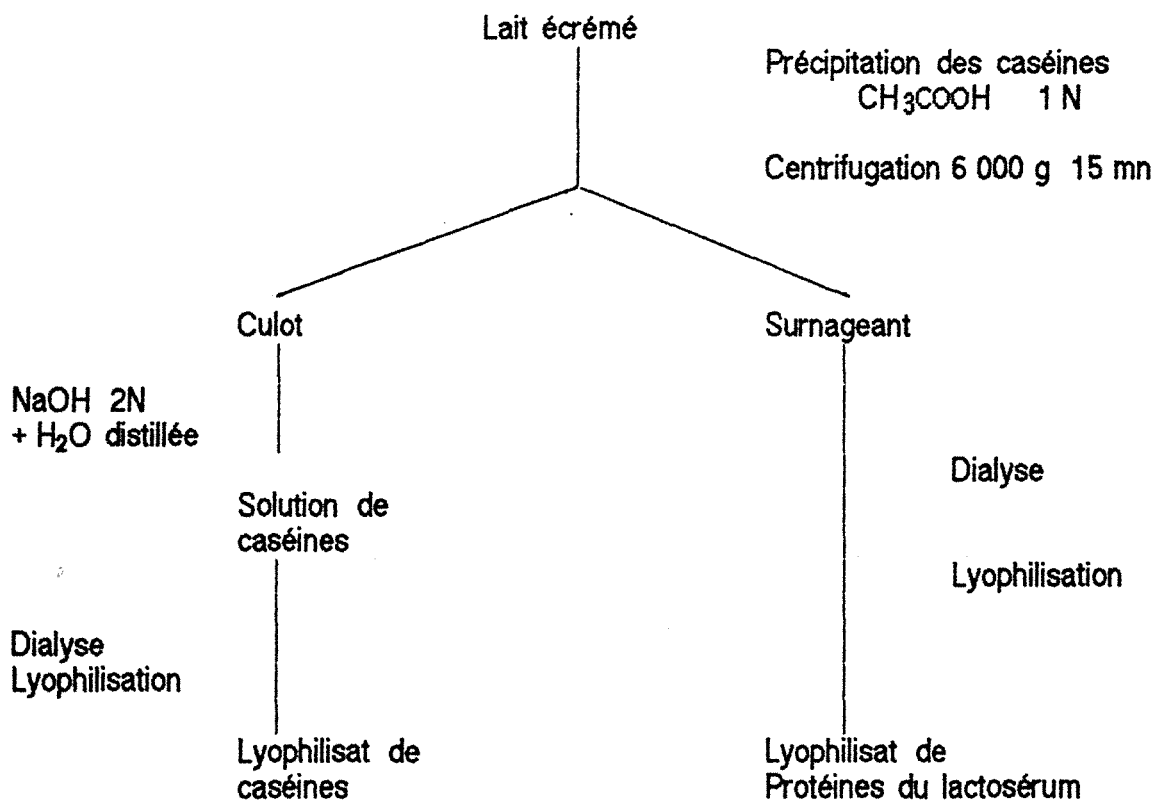
Le taux de caséines du lait est calculé à partir du taux protéique et de la teneur en azote des protéines du lactosérum : $T_{cas} = TP - (N_{pls} \times 6,38)$

II.4 - Séparation et dosage des différentes fractions protéiques

II.4.1 - Préparation des échantillons

Les échantillons sont préparés comme présenté à la figure II.3 :

Figure II.3:



a

Figure II.4: Chromatogramme des caséines du lait de vache

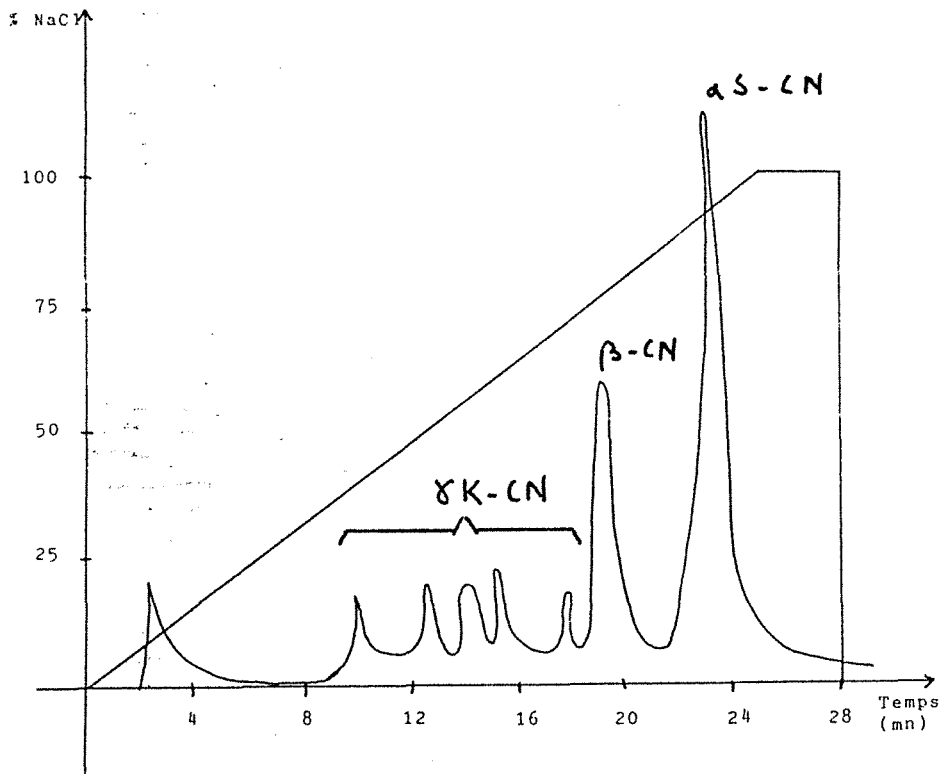
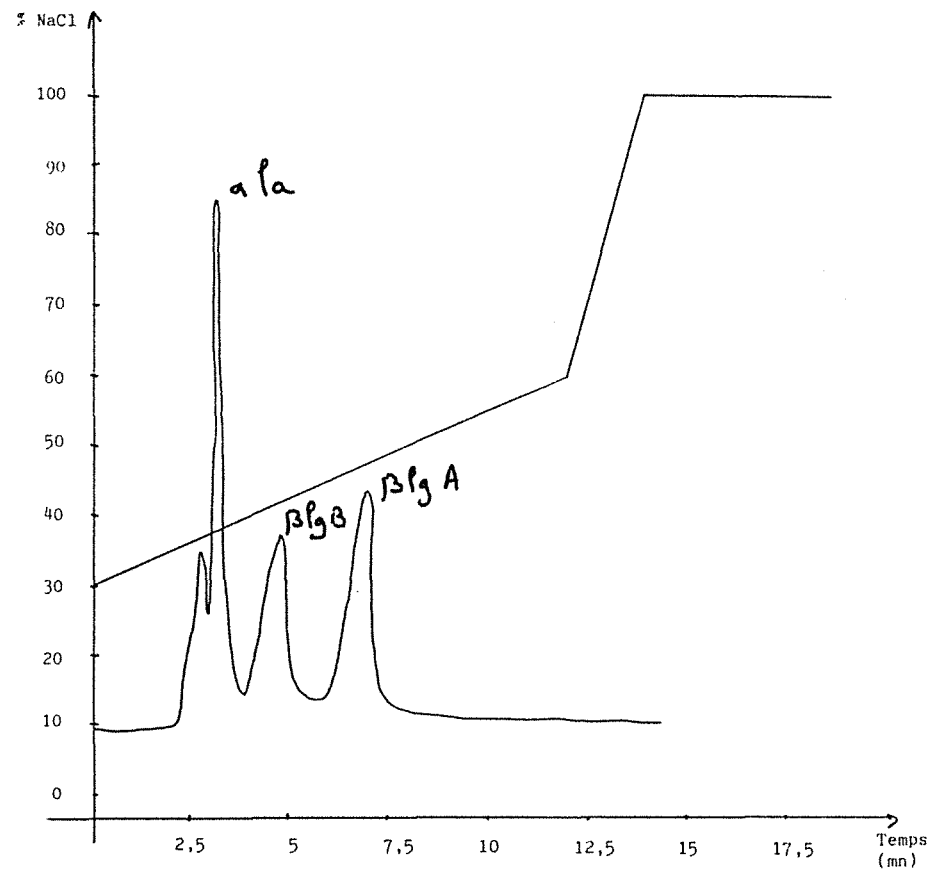


Figure II.5: Chromatogramme des protéines du lactosérum du lait de vache



II.4.2 - Dosage des caséines

La séparation est réalisée sur colonne MonoQ en FPLC (Pharmacia). Les tampons, ajustés à pH 7,0 (Na OH 2N), sont ceux indiqués par ANDREWS et al (1985). L'élution est réalisée avec un gradient de NaCl. Tout tampon est préparé quotidiennement, pour éviter la dérive de la ligne de base, filtré (filtre Millipore GVWP - 0,22 μ) puis dégazé aux ultrasons.

Environ 10 mg de lyophilisat sont dissous dans 10 ml de tampon, puis filtrés (filtre Millipore GSWP - 0,22 μ). L'injection est réalisée avec une boucle de 200 μ l. Les pompes sont réglées pour un débit constant de 1 ml /mn.

Les résultats des chromatogrammes (figure II.4) ne sont pas directement exploitables à partir de la surface des pics et nécessitent des coefficients correctifs tenant compte des différences d'absorption à 280 nm. Ces coefficients ont été déterminés à partir d'échantillons de caséines pures lors de chaque changement de colonne. Les valeurs sont égales à 1 pour α S₁-CN et α S₂-CN, comprises entre 2,12 et 2,20 pour β -CN et entre 1,07 et 1,09 pour K-CN.

II.4.3 - Dosage des protéines du lactosérum

La chromatographie HPLC (Beckman) est réalisée sur colonne TSKDEAE. Les tampons, ajustés à pH 8,0 (NaOH 2N) sont ceux indiqués par ANDREWS et al (1985). Les conditions d'élution et de préparation des tampons sont équivalentes à la chromatographie FPLC.

Environ 10 mg de lyophilisat sont dissous dans 10 ml de tampon, filtrés sur filtre Millipore et injectés à l'aide d'un injecteur automatique (boucle de 20 μ l). Les pompes sont réglées pour un débit constant de 1 ml /mn.

Les coefficients correctifs permettant l'exploitation des chromatogrammes (figure II.5) sont égaux à 1 pour α la, compris entre 2,82 et 3,21 pour β IgB et entre 2,41 et 2,60 pour β IgA.

II.5 - Teneurs en minéraux

Les dosages sont effectués sur une solution de cendres, obtenues par calcination au four à moufle (550° C - 5 h) de 10 ml de lait préalablement desséché, solubilisées dans 10 ml d'HCl N.

II.5.1 - Calcium et Sodium

Une prise d'essai est constituée d'1 ml de la solution acide de cendres diluée 200 fois par ajout de 20 ml de chlorure de lanthane complété avec de l'eau distillée (MARAVAL, 1978). Le chlorure de lanthane élimine les interférences dues à différents cations et au phosphore.

La mesure est effectuée à l'aide d'un spectrophotomètre d'absorption atomique Perkin Elmer "1100" (longueur d'onde: 423 et 589 nm, largeur de fente: 0,7 et 0,2 nm respectivement pour Ca et Na).

II.5.2 - Phosphore

Une prise d'essai est constituée d'1 ml de la solution acide de cendres diluée 50 fois. La réaction est effectuée en milieu réducteur par ajout de 0,2 ml d'acide ascorbique à 1 % et de 0,4 ml de molybdate d'ammonium (formation de phosphomolybdate d'ammonium) complété à 10 ml avec de l'eau distillée. La mesure est effectuée par colorimétrie (spectrophotomètre Beckman DU70 à 660 nm).

III - Paramètres physiques

III.1 - pH

Le pH initial est mesuré sur un échantillon de lait frais entier (pH mètre Orion research, étalonné à l'aide de tampons standard pH4 et pH7).

III.2 - Taille micellaire

a) Principe

L'appareil utilisé est un granulomètre laser Autosizer II (Malvern Instruments). L'échantillon est illuminé par un rayon laser incident dans un compartiment thermostaté. Un récepteur optique est placé à 90° de l'axe d'incidence du rayon laser. La zone de mesure, située à l'intersection de ces 2 axes, contient normalement 100 à 1000 particules. Les signaux optiques réfléchis par les particules sont recueillis par le récepteur et convertis par

Figure II.6 : Schéma du formagraph
(Mc MAHON et BROWN, 1982)

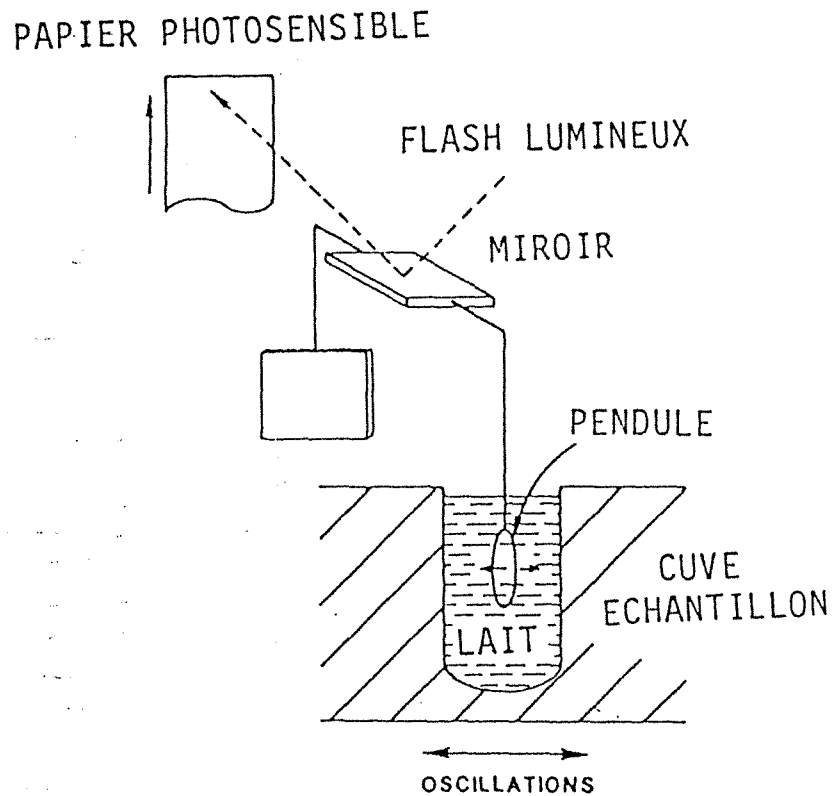
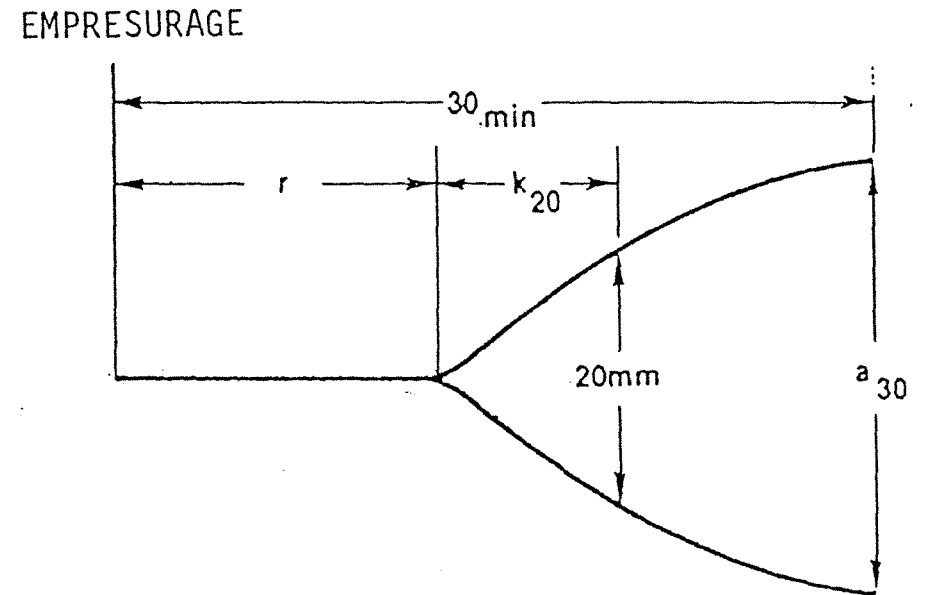


Figure II.7 : Exemple de formagramme
(Mc Mahon et BROWN, 1982)



un logiciel informatique. L'analyse effectuée considère que la répartition des particules en classes de taille suit une loi de distribution normale.

b) Méthode

La mesure est effectuée sur 200 μ l de lait écrémé, afin d'éliminer les interférences dues aux globules gras, dilué dans 2 ml d'eau distillée. La mesure est réalisée à température constante (20°C) en moins d'une heure : il n'y a pas d'effet significatif du milieu sur la taille micellaire moyenne (SCHEER, 1988).

L'appareil effectue successivement 5 mesures puis calcule moyenne et écart type. Il fournit également le maximum obtenu avec la distribution normale correspondante.

IV - Paramètres technologiques

IV.1 - Principe

L'appareil utilisé est un Formagraph : un échantillon de lait écrémé empréuré est soumis à des oscillations linéaires périodiques, un pendule solidaire d'un miroir étant plongé dans l'échantillon (figure II.6). Un flash lumineux régulier permet d'enregistrer les mouvements du pendule sur un papier photosensible. Le diagramme obtenu indique l'évolution de la fermeté du caillé (MAC MAHON et BROWN, 1982). Il s'agit d'une méthode destructive.

IV2 - Méthode

10 ml de lait écrémé sont empréurés par 200 μ l d'une solution obtenue par dilution de 3 ml de présure à 520 mg de chymosine active par litre (force 1/10 000) dans 200 ml d'eau distillée.

La mesure, effectuée à la température constante de 35°C, permet d'enregistrer le temps de coagulation et le temps d'obtention de la fermeté standard. Le temps de coagulation (R) est le temps s'écoulant entre l'empréurage et la formation du gel. Le temps d'obtention de la fermeté standard (K₂₀) est le temps s'écoulant entre le début de la coagulation et une fermeté correspondant à un écartement de 20 mm entre les 2 branches du formagramme (figure II.7).

Lors des essais "maîtrise de l'apport énergétique" et de l'essai de transformation fromagère portant sur l'influence du TP sur le rendement fromager, le formagraph utilisé a présenté un dysfonctionnement provoquant un écartement des branches du formagramme plus lent et par suite un accroissement des temps mesurés, notamment du K20, par rapport aux résultats de la bibliographie (SCHAAR, 1984 ; MARZIALI et NG KWAI HANG, 1986 b ; TROUVE, 1987 ; SCHEER, 1988 ; NUYTS et VASSAL, 1989). Dans les essais de transformation fromagère portant sur l'influence de la saison, l'utilisation d'un autre appareil a permis d'obtenir des valeurs "normales".

Y - Transformation fromagère des laits

V.1 - Transformations "grandeur réelle" en industrie

Les fabrications sont de type pâte molle et portent sur les laits de mélange de 3 troupeaux. Elles sont effectuées sur environ 1 800 litres de lait standardisé à 20 ‰ de matière grasse.

Pour chaque lait mis en transformation, un échantillon est prélevé afin de déterminer la composition chimique, les paramètres physiques et technologiques tels que définis pages 45.

a) Protocole de transformation

Un ajout systématique de chlorure de calcium est effectué, à raison de 12,7 g de Ca par 100 litres de lait. Les laits sontensemencés avec des levains mésophiles. La température de la pièce de transformation est de 25°C et l'hygrométrie maintenue à saturation. Les laits sont emprésurés à une température de 36°C à raison de 50 ml de présure (force 1/10 000) par 100 litres de lait. Le temps de floculation (Tf) est mesuré manuellement.

Le caillé est tranché à 3 Tf puis moulé 4 Tf après tranchage. 4 à 6 h après emprésurage, la température est réduite à 22°C et l'hygrométrie à 80-85 %, mais sans contrôle précis. Trois retournements du caillé sont effectués avant démoulage, celui-ci ayant lieu environ 24 h après emprésurage. Les fromages sont ensuite placés en salle d'affinage (température comprise entre 11 et 13°C - humidité non contrôlée).

b) Paramètres mesurés

Les paramètres suivants sont mesurés afin de déterminer les rendements fromagers frais et sec (rendement frais x teneur en MS) :

- volume précis de lait mis en oeuvre par fabrication
- nombre de fromages fabriqués pour chaque volume transformé
- pesée de 60 fromages par fabrication, soit environ 10 % des fromages fabriqués à partir du volume mis en oeuvre, 1 jour après transformation (J+1, démoulage), 3 jours après transformation (J+3, après salage) et 10 jours après transformation (J+10, emballage).
- détermination des teneurs en MS, MG et MP sur quatre fromages de poids moyen pour chaque fabrication à J+10.

V.2 - Fabrications pilotes

Les fabrications sont de type pâte molle et portent sur les laits de mélange d'un ou de trois troupeaux. Elles sont effectuées sur 40 kg de lait standardisé à environ 26 ‰ de MG.

Les mesures de composition chimique, de paramètres physiques et technologiques réalisées sur chaque lait mis en transformation sont définies page 47.

a) Protocole de transformation

Les laits sont réchauffés à 35-40°C pour être standardisés en MG par écrémage total d'un volume partiel, puisensemencés avec des levains lyophilisés acidifiants mésophiles (Eurozyme MA400) à raison de 5 g pour 100 kg de lait.

La température de la salle de transformation est maintenue à 25°C et l'hygrométrie à 80 %. Les laits sont emprésurés avec une présure titrant 520 mg de chymosine active par litre (force 1/10 000), à raison de 25 ml par 100 kg de lait et à une température de 34°C. Le temps de floculation (Tf) est mesuré manuellement : la floculation est considérée comme ayant lieu dès la formation d'un gel.

Après 2,5 Tf, le caillé est tranché en colonnes de 2 x 2 cm, puis moulé à la louche 3 Tf après tranchage. On procède ensuite à 3 retournements du caillé (environ 4 h, 6 h et 18 h après le moulage). Le démoulage a lieu environ 24 h après le moulage. Les fromages sont alors placés en salle d'affinage (température: 12°C ± 1°C, humidité non contrôlée). Le salage est réalisé à J+2 par immersion dans une saumure saturée en sel.

b) Paramètres mesurés

Les paramètres de transformation fromagère et de composition des fromages mesurés sont :

- Cinétique d'égouttage et d'acidification du lactosérum toutes les 30 mn jusqu'à 6 h puis à 18 h et 24 h (quantité de lactosérum uniquement).
- Pesée des fromages à J+1, J+3, J+10.
- Détermination des teneurs en MS sur un fromage de poids moyen par fabrication à J+1, J+3 et J+10.
- Détermination des teneurs en MG et MP sur un fromage de poids moyen par fabrication à J+10.

V.3 - Mesures de composition chimique du lactosérum et des fromages fabriqués

V.3.1 - Teneur en matière sèche

La teneur en matière sèche du lactosérum ou des fromages est déterminée dans les mêmes conditions que pour le lait (cf page 51) (Annexe 1).

V.3.2 - Teneur en azote

Les teneurs en azote sont déterminées par la méthode de KJELDAHL, par distillation automatique (Gerhardt Vapodest 6) (Annexe 2).

a) lactosérum

La teneur en MAT du lactosérum est déterminée sur un échantillon de 5 ml de lactosérum.

A partir de la teneur en MAT du lactosérum et de la quantité de lactosérum écoulé est calculée la teneur en matières azotées coagulables (N MAC) du lait :

$$\text{N MAC du lait} = \frac{(\text{Ntotal lait} \times \text{Qté lait transformé}) - (\text{Nlactosérum} \times \text{Qté lactosérum})}{\text{Qté lait transformé}}$$

*b) Fromage*** Azote total*

Environ 5 g de fromage sont pesés précisément et dissous dans 100 ml d'une solution de citrate de soude 0,5 M. La prise d'essai est constituée de 5 ml de cette solution.

** Azote non protéique*

Les protéines d'une solution de fromage dissout dans le citrate de soude sont précipitées par une solution d'acide trichloracétique 12 %. La prise d'essai est constituée de 15 ml de filtrat, préalablement complété à 150 ml.

V.3.3 - Teneur en matière grasse

La teneur en matière grasse des fromages est déterminée par la méthode acidobutyrométrique, basée sur la technique de VAN GULIK (NF VO4-287). La détermination de la teneur en MS est effectuée simultanément.

TROISIEME PARTIE

TRAITEMENT ET ANALYSE STATISTIQUE DES DONNEES

I - Influence des facteurs zootechniques sur les caractéristiques physicochimiques et technologiques des laits

I.1 - Modifications de l'apport énergétique

Lors des essais préliminaires, l'impact des interventions sur l'apport énergétique est estimé par la moyenne des variations des paramètres de composition physicochimique du lait entre la semaine 1 et la semaine 4 pour chaque période. La moyenne et l'écart-type des variations sont calculées pour chaque type d'intervention programmée : augmentation, diminution ou non-modification des apports.

Pour les essais "maîtrise de l'apport énergétique", l'effet de l'ajustement des rations aux recommandations INRA est estimé par la moyenne, pour l'ensemble des exploitations, des variations des paramètres de composition physicochimique et technologiques entre la phase 1 et la phase 2.

L'effet de l'apport supplémentaire de 2,5 kg de concentré est estimé en comparant la moyenne des paramètres de composition physicochimique et technologiques lors de la séquence de maintien des apports au niveau des recommandations (phase 3 pour le groupe A et phase 4 pour le groupe B) à la moyenne de ces mêmes paramètres lors de la séquence d'augmentation du concentré (phase 4 pour le groupe A et phase 3 pour le groupe B).

I.2 - Tri des vaches laitières sur le TP

L'influence de l'élimination de 10 % des multipares aux plus faibles TP est estimée, pour chaque séquence de simulation réalisée, par la moyenne des variations des paramètres de composition physicochimique entre le lait de mélange de l'ensemble du troupeau et le lait de mélange correspondant aux 90 % des vaches restant après tri.

I.3 - Hiérarchisation des facteurs zootechniques

I.3.1 - Laits de mélange

Objectif : Hiérarchiser et quantifier, dans les conditions de ces essais, l'influence des facteurs zootechniques sur les variations de TP de laits de mélange.

L'hétérogénéité des données issues des différentes expérimentations a empêché une analyse globale de l'ensemble de ces données. En effet, les paramètres mesurés dans les essais préliminaires ne permettent pas d'estimer les bilans énergétiques et azotés des troupeaux. De plus, les périodes de mesures et d'interventions choisies ne sont pas concordantes d'une série d'essais à l'autre. Les traitements statistiques ont donc été effectués pour deux populations de données.

Une analyse factorielle des correspondances (AFC - logiciel Statitcf) a été réalisée dans un premier temps afin de représenter graphiquement les liaisons existant entre les variables zootechniques, transformées en variables discontinues, et les variables de composition du lait, introduites comme variables supplémentaires.

Dans un second temps une analyse en composante principale (ACP - logiciel Statitcf) a été effectuée afin d'analyser les variables en continu au lieu de réduire leur variabilité à un nombre déterminé de classes. Les variables discontinues ont été prises en compte en les projetant comme variables supplémentaires. Des groupes ont été établis pour chaque modalité de ces variables discontinues et la moyenne des individus constituant chaque groupe projetée en individu supplémentaire sur le graphe.

L'AFC et l'ACP ont été réalisées sur les données précédemment définies, après élimination des variables très corrélées entre elles pour n'en conserver qu'une (Index lait et Index QMMU - Stade de lactation et stade de gestation).

Pour compléter ces analyses, une régression ascendante (logiciel Statitcf) est effectuée à partir des principaux facteurs zootechniques influençant le TP.

I.3.2 - Laits individuels

Objectif : Confronter la hiérarchisation et la quantification de l'influence des différents facteurs zootechniques sur le TP de laits individuels avec les résultats obtenus en laits de mélange.

Dans les essais présentés dans ce travail, aucun contrôle individuel de l'alimentation n'a été effectué. Les variations de TP entre individus ne peuvent en général pas être expliquées sans la prise en compte des écarts de conduite alimentaire entre ces mêmes individus.

Par contre, l'utilisation de données homogènes quant à l'alimentation, avec des apports se situant systématiquement au niveau des recommandations, permet d'expliquer les variations de TP à partir des variables zootechniques autres qu'alimentaires.

Afin de tester les variables zootechniques influençant significativement le TP, une analyse de variance-covariance (procédure GLM - logiciel SAS) a été réalisée dans un premier temps sur les données individuelles des vaches en lactation lors de la deuxième phase des essais "maîtrise de l'apport énergétique".

Pour compléter cette analyse et afin de quantifier l'influence des facteurs zootechniques sur le TP, une régression ascendante (logiciel Statitcf) est effectuée. Les coefficients de régression obtenus sont comparés à ceux résultant de l'analyse sur laits de mélange.

II - Relations entre les caractéristiques physicochimiques et technologiques des laits

II.1 - Indépendance des données

Les données sont issues respectivement de 21 et 16 exploitations mais plusieurs de ces données proviennent d'un même élevage, chacune correspondant à une période caractérisée par des paramètres zootechniques (alimentation, stade de lactation...) différents.

Objectif : Vérifier que l'ensemble des données issues des différentes expérimentations constitue une population d'échantillons pouvant être considérés comme indépendants.

Cette vérification a été effectuée par l'estimation de la contribution de la variance intra-élevage à la variance totale pour chaque variable de composition du lait (procédure Varcomp - logiciel SAS).

II.2 - Corrélations établies 2 à 2 entre les caractéristiques physico-chimiques et technologiques

Objectif: Caractériser au mieux l'aptitude fromagère des laits.

Les corrélations entre les différents critères de composition du lait et/ou les paramètres technologiques sont calculées à l'aide du logiciel Statitcf.

Après élimination des échantillons pour lesquels il existait une valeur manquante ou anormale, la base de données est constituée de 258 échantillons.

II.3 - Influence du TP et de ses variations sur la nature des protéines du lait

II.3.1 - Influence du TP sur la nature des protéines du lait

Objectif: Caractériser la composition en caséines et protéines du lactosérum de laits à différents TP.

Les taux protéiques de l'ensemble des laits de mélange (valeurs manquantes ou anormales éliminées) sont répartis en classes d'écart moyen 1 g/kg. Afin de conserver un effectif par classe suffisant, seuls les laits dont le TP est compris entre 27,5 et 32,5 g/kg sont conservés, constituant ainsi 5 classes.

Pour chaque classe de TP, les teneurs moyennes du taux de caséines et du taux de protéines du lactosérum, les pourcentages moyens des différentes caséines et protéines du lactosérum ainsi que leurs teneurs moyennes ont été calculées. La comparaison des différentes proportions de caséines et protéines du lactosérum est effectuée à l'aide d'une analyse de variance prenant en compte les différences de nombre d'échantillons par classe (procédure GLM - logiciel SAS). Les différences des moyennes ajustées entre classes sont testées deux à deux.

II.3.2 - Influence des variations du TP sur la nature des protéines du lait

Objectif: Caractériser la part prise par les caséines et les protéines du lactosérum dans les variations de TP.

Les variations par troupeau des différents composants protéiques des laits de mélange sont calculées entre deux prélèvements successifs pour l'ensemble des

exploitations. A partir de l'amplitude des variations de TP, des classes de gains et de pertes de taux protéique, par tranche de variation de TP de 0,5 g/kg, sont constituées. Afin de conserver un effectif suffisant par classe, seules 6 classes sont conservées : 3 classes de gains de TP (jusqu'à + 1,5 g/kg) et 3 classes de pertes de TP (jusqu'à - 1,5 g/kg). Pour chaque classe de variation, la part prise par les caséines et celle prise par les protéines du lactosérum dans la variation du TP sont calculées.

III - Explication des variations de rendement fromager à partir des paramètres de composition du lait

III.1 - Influence du niveau du TP sur la transformation fromagère

Objectif : Expliquer les variations de rendement fromager à partir des paramètres de composition physicochimique et des paramètres technologiques et quantifier l'influence de chaque paramètre sur le rendement.

Des régressions linéaires multiples (logiciel Statitcf) sont effectuées. Elles prennent en compte successivement les teneurs en protéines (protéines totales, caséines, matières azotées coagulables) en cumul avec le taux butyreux, et les paramètres technologiques, seuls dans un premier temps puis en cumul avec les composants chimiques.

III.2 - Influence de la saison sur la transformation fromagère

Objectif : Déterminer la part des facteurs zootechniques par rapport aux paramètres de composition du lait et aux conditions de transformation dans les facteurs de variation des rendements en fin d'hiver.

L'effet de la saison sur les caractéristiques physicochimiques, technologiques et des transformations fromagères est testé par analyse de variance à deux facteurs (exploitation et semaine de transformation) (Procédure ANOVA - logiciel SAS).

Les rendements fromagers des laits de fin d'hiver sont comparés à ceux obtenus pour les laits de janvier, après prise en compte de leur teneur en protéines.

Les corrélations entre rendement fromager et paramètres de composition physicochimique ou technologiques sont calculées à l'aide du logiciel Statitcf.

RESULTATS - DISCUSSION

Tableau III.1 -Influence des apports énergétiques sur la production et la qualité du lait
Essais préliminaires Période 1

	Augmentation des apports + 2 kg de concentré			Diminution des apports			Pas de modification			Ensemble des exploitations		
	n	Valeur initiale Semaine 1	Après intervention Semaine 4	n	Valeur initiale Semaine 1	Après intervention Semaine 4	n	Valeur initiale Semaine 1	Semaine 4	n	Semaine 1	Semaine 4
Production laitière (kg) attendue/persistance	9	25,3 (3,2)	24,8 (3,0) 23,8	1	23,3	21,6 21,9				10	25,1	24,5
Stade de lactation (sem)	10	16,9 (2,9)	19,3 (2,6)	5	16,6 (3,0)	18,6 (2,7)	5	17,3 (2,9)	18,7 (2,5)	10	16,9	19
TP (g/kg)	6	28,9 (1,0)	29,1 (0,7)	3	28,1 (0,6)	28,1 (1,1)	2	29,2 (0,1)	28,8 (0,6)	11	28,8	28,8
N prot (g N/l)	10	4,35 (0,37)	4,87 (0,42)	5	4,54 (0,14)	4,57 (0,22)	5	4,71 (0,30)	4,62 (0,48)	20	4,49	4,73
N cas (g N/l)	10	3,68 (0,34)	4,04 (0,48)	5	3,79 (0,16)	4,09 (0,38)	4	4,02 (0,29)	4,19 (0,59)	19	3,78	4,08
% Caséines/Protéines	10	84,4 (1,7)	82,9 (4,6)	5	83,4 (1,2)	89,5 (6,0)	4	84,8 (1,0)	90,9 (4,2)	19	84,2	86,3
ANP (g N/l)	10	0,29 (0,06)	0,31 (0,05)	5	0,28 (0,07)	0,32 (0,10)	5	0,32 (0,03)	0,34 (0,04)	20	0,29	0,32
Taille des micelles	9	195 (6)	203 (20)	5	202 (4)	206 (11)	5	188 (4)	187 (7)	19	195	200
pH	10	6,64 (0,11)	6,68 (0,05)	5	6,61 (0,10)	6,73 (0,08)	5	6,54 (0,10)	6,68 (0,03)	20	6,61	6,69

Moyenne (Ecart type)

PREMIERE PARTIE

INFLUENCE DES FACTEURS ZOOTECHNIQUES

SUR LES CARACTERISTIQUES PHYSICOCHIMIQUES

ET TECHNOLOGIQUES DES LAITS

I - Modifications de l'apport énergétique

I.1 - Essais préliminaires

I.1.1 - Influence des modifications de l'apport énergétique sur les teneurs en protéines

a) Période 1 : Hiver

La correction de l'apport énergétique par la distribution de 2 kg de concentré supplémentaire se traduit par une augmentation moyenne du taux protéique de 0,2 g/kg, lorsque le troupeau était en déficit énergétique (tableau III.1). La réponse varie de 0 à 0,6 g.kg suivant les élevages et le TP diminue même dans un cas (figure III.1).

Dans ces conditions, la teneur moyenne en azote protéique augmente plus fortement (+ 0,5 g/l) que la teneur en azote caséique (+ 0,4 g/l) : la part des caséines dans les protéines totales diminue donc de 1,5 point (tableau III.1).

Avec la distribution du concentré supplémentaire, la persistance de la production est améliorée (+ 5 %).

La taille des micelles de caséine et le pH des laits varient peu.

La diminution des apports pour les troupeaux initialement en excédent énergétique ou azoté ne modifie pas la teneur moyenne en protéines des laits. L'évolution, très hétérogène, est caractérisée par des variations de TP comprises entre + 0,5 et - 0,5 g/kg. La réduction des apports azotés dans 3 cas et des apports énergétiques dans 2 cas correspond à une baisse maximum d'1,5 kg de concentré. L'absence de réponse à cette réduction des

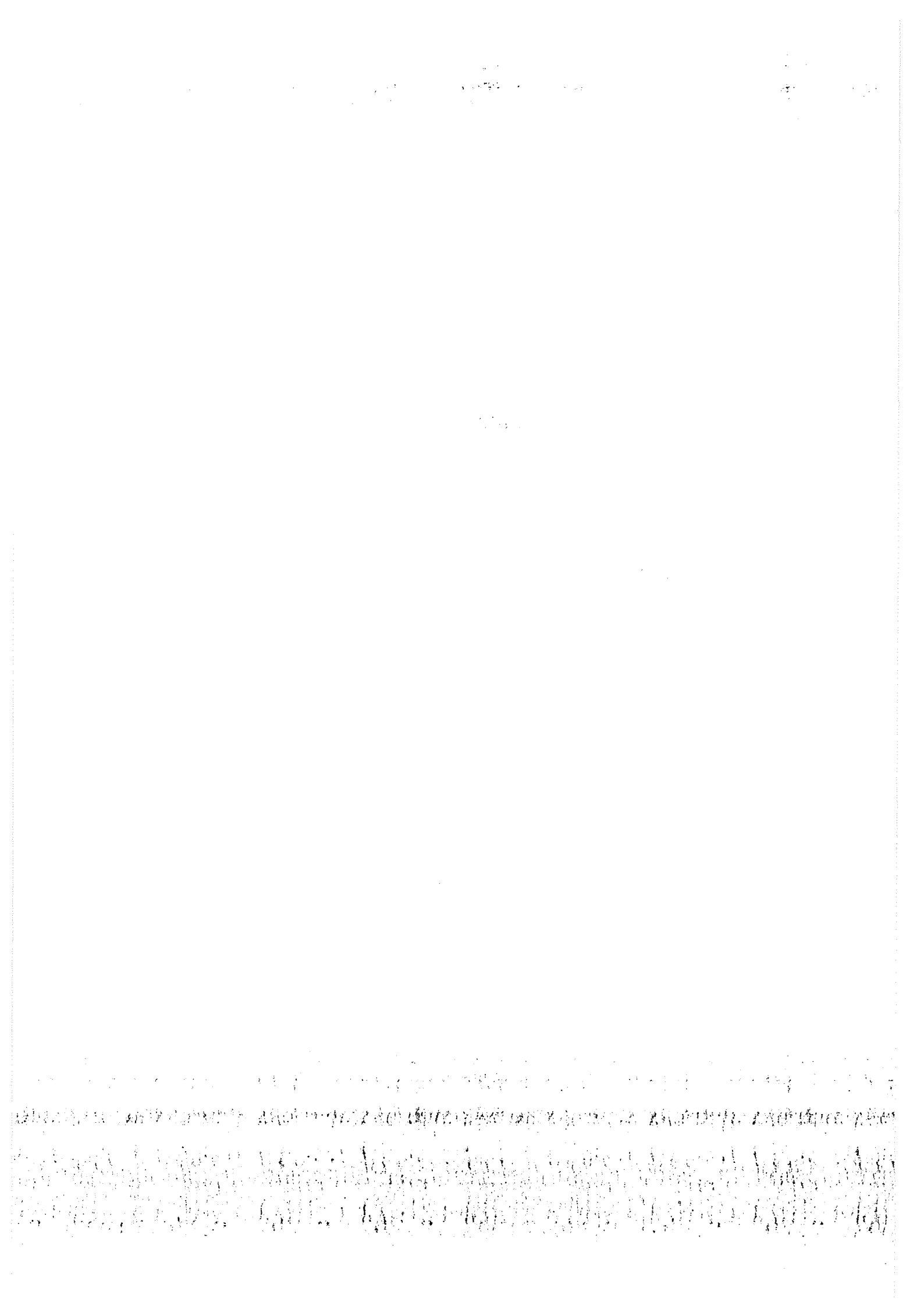
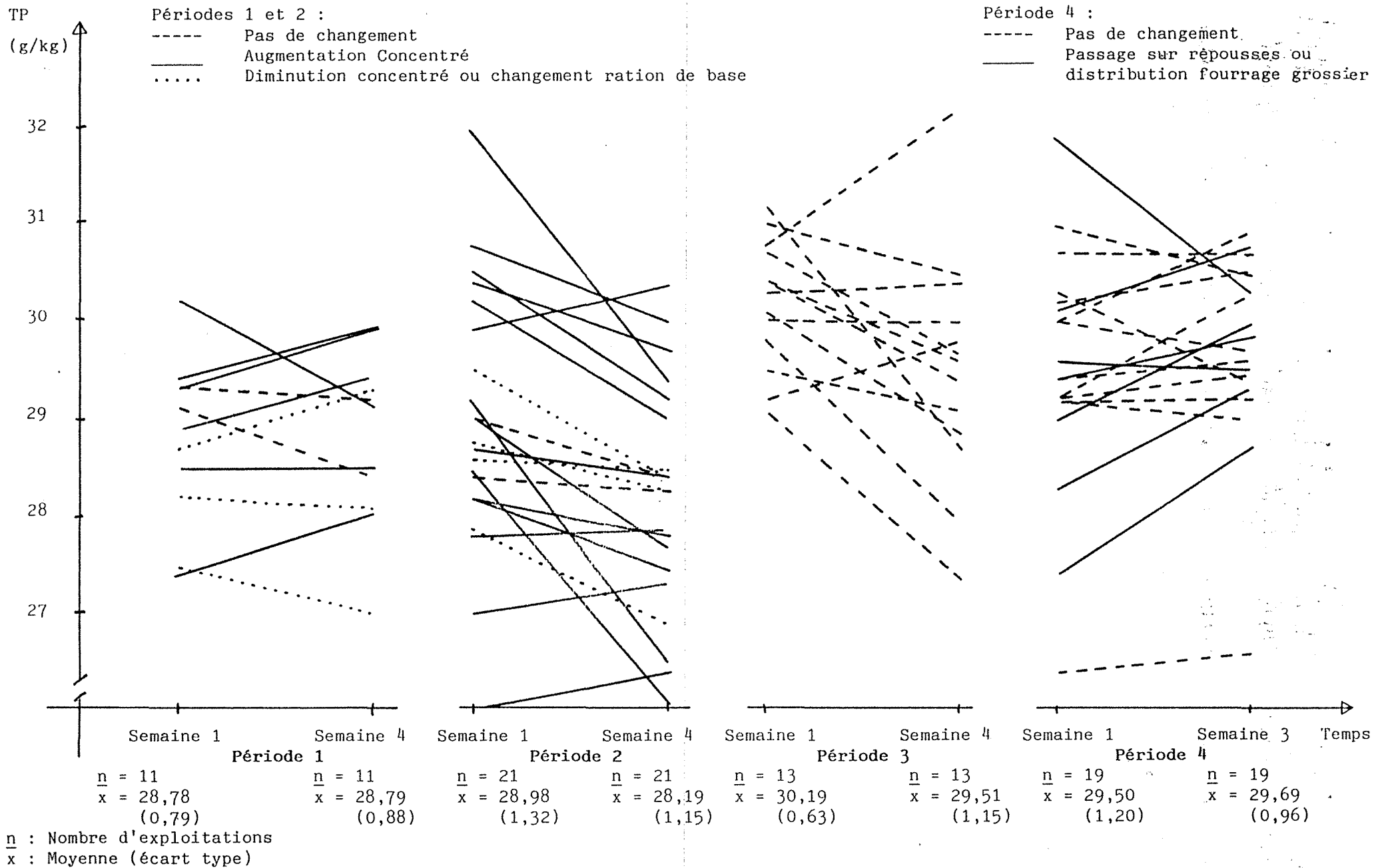


Figure III.1 : Influence de l'apport énergétique sur le TP



**Tableau III.2 -Influence des apports énergétiques sur la production et la qualité du lait
Essais préliminaires Période 2**

	Augmentation des apports + 2 kg de concentré			Diminution des apports			Pas de modification			Ensemble des exploitations		
	n	Valeur initiale Semaine 1	Après intervention Semaine 4	n	Valeur initiale Semaine 1	Après intervention Semaine 4	n	Valeur initiale Semaine 1	Semaine 4	n	Semaine 1	Semaine 4
Production laitière (kg) attendue/persistance	7	23,6 (2,3)	22,4 (2,4) 22,0	2	23,9 (2,8)	22,8 (1,9) 21,8				10	23,2	22,4
Stade de lactation (sem)	15	21,5 (2,8)	24,1 (2,9)	4	21,9 (2,3)	25,3 (2,1)	2	24,1 (1,1)	24,6 (0,1)	21	23,7	24,4
TP (g/kg)	15	29,1 (1,6)	28,2 (1,4)	4	28,7 (0,7)	28,0 (0,7)	2	28,7 (0,4)	28,3 (0,1)	21	29,0	28,2
N prot (g N/l)	14	4,59 (0,21)	4,46 (0,21)	3	4,67 (0,27)	4,31 (0,19)	1	4,99	4,85	18	4,62	4,46
N cas (g N/l)	14	4,00 (0,21)	3,81 (0,26)	4	3,95 (0,23)	3,78 (0,15)	1	4,65	4,48	19	4,02	3,84
% Caséines/Protéines	14	87,3 (2,4)	85,4 (4,3)	3	85,7 (1,4)	89,3 (1,6)	1	86,2	71,5	18	87,0	85,3
ANP (g N/l)	15	0,35 (0,04)	0,39 (0,07)	3	0,35 (0,06)	0,43 (0,09)	2	0,34 (0)	0,35 (0,03)	20	0,35	0,39
Taille des micelles	15	210 (14)	207 (8)	3	207 (14)	215 (10)	2	202 (9)	200 (10)	20	208	207
pH	15	6,80 (0,03)	6,76 (0,05)	4	6,79 (0,03)	6,74 (0,06)	2	6,79 (0,06)	6,77 (0,05)	21	6,80	6,76

Moyenne (Ecart type)

apports rappelle les observations de REMOND (1985) qui montraient la faible influence d'apports énergétiques supérieurs aux recommandations.

Le pourcentage de caséines dans les protéines totales augmente, à la suite de l'accroissement de la teneur en azote caséique (+ 0,3 g/l).

Pour les exploitations où les apports ne sont pas modifiés, le TP moyen diminue de 0,4 g/kg et la teneur en azote protéique de 0,1 g/l. La part des caséines dans les protéines totales augmente, ainsi que la teneur en azote caséique (+ 0,2 g/l).

Pour l'ensemble des exploitations, le TP n'a pas varié entre le début et la fin de la période alors que les teneurs en azote protéique et en azote caséique ont augmentés (+ 0,2 g/l et + 0,3 g/l respectivement).

b) Période 2 : Fin d'hiver

Malgré l'augmentation de l'apport de concentré, le taux protéique diminue de 0,9 g/kg en moyenne et la teneur en azote protéique de 0,1 g/l (tableau III.2). La plage des variations atteint de + 0,5 g/kg à - 2,6 g/kg de TP (figure III.1).

Le pourcentage de caséines dans les protéines totales diminue, accompagnant la teneur en azote caséique (- 0,2 g/l).

La diminution de la production laitière est conforme aux valeurs calculées à partir de la persistance théorique.

La même tendance à la baisse du taux protéique et de la teneur en azote protéique est notée dans les exploitations ayant diminué les apports de concentré (- 0,7 g/kg de TP et - 0,4 g/l d'azote protéique) mais le pourcentage de caséines dans les protéines totales augmente fortement : la diminution de la teneur en azote caséique (- 0,2 g/l) est donc moins forte que celle de la teneur en azote protéique.

Dans les exploitations qui n'ont pas modifié le niveau d'apport, le TP diminue de 0,4 g/kg en moyenne et la teneur en azote protéique de 0,1 g/l.

Pour l'ensemble des situations, le TP a diminué entre le début et la fin de la période de 0,8 g/kg. Les teneurs en azote non protéique (ANP) déjà élevées en début de période (350 mg/l) atteignent en moyenne 390 mg/l en fin de période.

Plusieurs auteurs (LE DORE, 1977 ; VIGNON et al, 1978 ; BRUN-BELLUT et al, 1982) ont établi une liaison hautement significative entre la teneur en ANP et la teneur en urée du lait (r compris entre 0,78 et 0,98). Les variations de la teneur en urée du lait dépendent

Tableau III.3 -Influence de la mise à l'herbe sur la production et la qualité du lait
Essais préliminaires Période 3

	Mise à l'herbe totale			Distribution constante de fourrage grossier			Zéro pâturage			Ensemble des exploitations		
	n	Valeur initiale Semaine 1	Semaine 4	n	Valeur initiale Semaine 1	Semaine 4	n	Valeur initiale Semaine 1	Semaine 4	n	Semaine 1	Semaine 4
Production laitière (kg) attendue/persistance	7	22,6 (3,4)	21,1 (2,9) 21,2	1	22,7	18,2 20,7	2	21,1 (2,6)	20,7 (2,6) 19,8	10	22,3	20,8
Stade de lactation (sem)	14	25,6 (2,5)	28,4 (3,0)	3	28,2 (2,5)	30,6 (3,1)	3	29,5 (4,0)	31,7 (3,5)	20	26,5	29,2
TP (g/kg)	9	30,1 (0,7)	29,5 (1,4)	3	30,3 (0,8)	29,4 (0,9)	1	30,4	29,6	13	30,2	29,5
N prot-(g N/l)	13	4,75 (0,24)	4,82 (0,33)	2	4,72 (0,35)	4,72 (0,23)	3	4,66 (0,20)	4,94 (0,29)	18	4,73	4,83
N cas (g N/l)	13	4,01 (0,24)	4,12 (0,35)	2	4,09 (0,44)	4,06 (0,18)	3	3,93 (0,24)	4,22 (0,51)	18	4,00	4,13
% Caséines/Protéines	13	84,5 (2,1)	85,5 (2,8)	2	86,5 (3,0)	86,0 (0,2)	3	84,3 (1,9)	85,2 (5,5)	18	84,7	85,5
ANP (g N/l)	13	0,41 (0,04)	0,34 (0,05)	2	0,38 (0,05)	0,31 (0,05)	3	0,39 (0,06)	0,27 (0,02)	18	0,41	0,31
Taille des micelles	14	209 (12)	199 (7)	3	205 (13)	200 (1)	3	203 (7)	201 (8)	20	208	200
pH	14	6,72 (0,04)	6,70 (0,03)	3	6,73 (0,04)	6,72 (0,02)	3	6,70 (0,01)	6,68 (0,01)	20	6,72	6,70

Moyenne (Ecart type)

fortement de l'alimentation, notamment de l'équilibre entre les apports énergétiques et azotés (GORDON, 1970 ; VIGNON et LAURENT, 1979 ; OLTNER, 1983 et KIRCHGESSNER, 1985 cités par KEMPF, 1986 ; BRUN-BELLUT, 1986) : un taux d'urée élevé traduit soit un excès azoté, soit un déficit énergétique.

L'évolution inverse des TP et des teneurs en ANP en fin d'hiver laisse supposer une forte sous-alimentation énergétique, qui aurait rendu inopérente la correction escomptée par le concentré. Cette sous-alimentation pourrait être consécutive aux interventions réalisées pour ajuster la production au quota, ou à des stocks fourragers insuffisants et de moindre qualité. La vérification de ces hypothèses aurait nécessité des mesures précises des quantités de fourrage distribuées.

c) Période 3 : Mise à l'herbe

Durant les quatre semaines suivant la mise à l'herbe, l'évolution de la composition du lait a été mesurée sans intervention sur l'apport énergétique. Les vaches ayant à leur disposition une herbe jeune, abondante et d'excellente qualité, tout accroissement de l'apport de concentré risquait de se traduire par une substitution de l'herbe par le concentré, sans effet sur l'apport énergétique réel.

Le taux protéique diminue en moyenne de 0,7 g/kg entre le début et la fin de la période. La baisse du TP est plus marquée pour les troupeaux recevant une part constante de fourrage grossier ou les troupeaux en zéro-pâturage (tableau III.3). Ces résultats laissent supposer, soit que les fourrages distribués sont alors de moins bonne qualité que l'herbe de début de saison, soit que la gestion du pâturage est meilleure dans les exploitations où la mise à l'herbe est totale.

La teneur en azote protéique augmente de 0,1 g/l. L'hétérogénéité constatée dans l'évolution des teneurs en protéines d'une exploitation à l'autre peut être expliquée par la brièveté de l'intervalle séparant la mise à l'herbe et le premier prélèvement (4 à 6 jours), les vaches laitières étant insuffisamment adaptées à leur nouveau régime.

Le taux protéique à la mise à l'herbe est en moyenne supérieur d'1 à 1,4 g/kg par rapport aux périodes hivernales (figure III.1). Les teneurs en ANP sont élevées en début de période : elles reflètent les fortes teneurs en MAT et en azote soluble de l'herbe jeune. Les valeurs de l'ANP chutent rapidement pour atteindre en fin de période des valeurs plus faibles qu'en fin d'hiver (- 60 mg/l).

Tableau III.4 -Influence des apports énergétiques au pâturage sur la production et la qualité du lait
Essais préliminaires Période 4

	Pas de variation			Passage sur repousses ou distribution fourrage conservé			Zéro pâturage			Ensemble des exploitations		
	n	Valeur initiale Semaine 1	Semaine 4	n	Valeur initiale Semaine 1	Après intervention Semaine 4	n	Valeur initiale Semaine 1	Semaine 4	n	Semaine 1	Semaine 4
Production laitière (kg) attendue/persistance	6	16,9 (1,6)	16,9 (1,3) 16,3	1	16,3 (3,8)	16,1 (4,3) 15,7	2	20,4 (1,8)	20,9 (2,8) 19,5	9	17,6	17,7
Stade de lactation (sem)	11	34,2 (3,2)	35,9 (2,9)	5	31,5 (4,1)	33,3 (3,6)	3	34,1 (2,5)	34,5 (2,6)	19	33,5	35,0
TP (g/kg)	11	29,5 (1,1)	29,7 (1,2)	5	29,2 (1,7)	29,6 (0,6)	3	30,2 (0,7)	29,9 (0,5)	19	29,5	29,7
N prot (g N/l)	11	4,93 (0,58)	4,67 (0,47)	5	4,73 (0,34)	4,71 (0,31)	3	4,77 (0,11)	4,78 (0,37)	19	4,85	4,70
N cas (g N/l)	11	3,96 (0,62)	3,98 (0,54)	5	3,69 (0,23)	3,93 (0,50)	3	4,00 (0,10)	3,70 (1,03)	19	3,89	3,92
% Caséines/Protéines	11	80,2 (6,0)	85,1 (4,0)	5	78,2 (3,8)	83,3 (8,5)	3	83,9 (2,2)	76,6 (15,9)	19	80,3	83,3
ANP (g N/l)	11	0,34 (0,03)	0,34 (0,06)	5	0,39 (0,05)	0,39 (0,07)	3	0,31 (0,03)	0,31 (0,03)	19	0,35	0,35
Taille des micelles	11	204 (8)	202 (9)	5	202 (12)	195 (13)	3	197 (7)	197 (7)	19	202	199
pH	11	6,74 (0,10)	6,67 (0,07)	5	6,80 (0,10)	6,70 (0,04)	3	6,66 (0,09)	6,61 (0,09)	19	6,74	6,67

Moyenne (Ecart type)

d) Période 4 : Pâturage d'été

L'élévation de l'apport énergétique par la distribution de fourrage conservé ou le passage sur repousses se traduit par une augmentation moyenne du taux protéique de 0,4 g/kg (tableau III.4).

La teneur en azote protéique ne varie pas, la teneur en azote caséique augmente de 0,2 g/l, entraînant une progression du pourcentage de caséines dans les protéines totales (+ 5 points).

Sans modification de l'alimentation, le taux protéique augmente en moyenne de 0,2 g/kg, avec une amplitude de variation de 1,1 g/kg au maximum. La teneur en azote protéique diminue de 0,2 g/l. Le maintien de la teneur en azote caséique améliore la part des caséines dans les protéines totales (+ 5 points) (tableau III.4).

2 Pour les 3 troupeaux en zéropâturage, le TP et la teneur en azote caséique diminuent, mais la teneur en azote protéique ne varie pas.

En moyenne, les TP se situent au cours de cette période au même niveau qu'à la mi-mai : les conditions de pâturage favorables (pluviométrie importante favorisant une bonne repousse) et la complémentation en fourrage conservé (ensilage de maïs et/ou ensilage d'herbe) pour la moitié des élevages contribuent à cette stabilité.

1.1.2 - Influence des modifications de l'apport énergétique sur les proportions des différentes caséines et protéines du lactosérum

Le pourcentage moyen de caséines α S dans les caséines totales varie entre 46 et 53 %. Les valeurs les plus faibles sont enregistrées pour les périodes de fin d'hiver et d'été. Le pourcentage de caséine β est constant (32 à 34 %). La part des caséines γ et K, comprise entre 15 et 22 %, varie à l'inverse de celle des caséines α S. L'ensemble de ces valeurs est conforme à celles rapportées par BRUNNER (1981) et ALAIS (1984).

Une augmentation de la proportion des γ -CN accompagne en général une diminution de la proportion de β -CN, les caséines γ étant principalement issues de la dégradation de la caséine β (GRIPON, 1987 ; RIBADEAU-DUMAS, 1987). Dans cet essai, seule la proportion de caséines α S a diminué.

La proportion d'alphalactalbumine varie entre 28 et 43 % : les valeurs les plus élevées sont observées pendant la période estivale, caractérisée par un stade de lactation



avancé (35 semaines en moyenne). Ces valeurs sont nettement plus élevées que les données de BRUNNER (1981) : 30 % en moyenne, de KROEKER et al (1985 a) et Ng KWAI HANG et al (1987) pour qui les teneurs minimales se situent en fin de lactation.

La modification des apports énergétiques n'a pas influencé directement les pourcentages des différentes caséines et protéines du lactosérum.

I.1.3 - Conclusion

L'augmentation des apports énergétiques a amélioré faiblement le taux protéique du lait lors de la première période hivernale et de la période de pâturage d'été (+ 0,2 et 0,4 g/kg en moyenne). En fin d'hiver, alors que la conduite alimentaire des animaux est souvent perturbée par l'ajustement de la production au quota, ou par l'insuffisance des stocks, l'apport supplémentaire d'énergie n'a pas empêché la chute du TP.

La part des caséines dans les protéines totales est variable selon la période de mesure. Elle est en moyenne supérieure aux valeurs de références. Elle diminue lors de la période de pâturage d'été, avec les laits de fin de lactation, rappelant en cela les observations établies par Ng KWAI HANG et al, 1982 ; REMOND, 1984 et LE DORE et al, 1986. Les variations du pourcentage de caséines dans les protéines totales ne semblent pas liées au niveau des apports énergétiques : les variations de l'azote caséique et de l'azote protéique ne sont pas liées.

I.2 - Maîtrise de l'apport énergétique

I.2.1 - Ajustement des rations aux recommandations INRA

L'ajustement des rations à partir des pratiques initiales des exploitants est caractérisé par une variation des apports énergétiques comprise entre - 1,7 et + 1,7 UFL et pour les apports azotés entre - 230 et + 450 g de PDIN et - 200 et + 300 g de PDIE.

L'ajustement des rations aux recommandations :

- a permis d'obtenir une production laitière supérieure de 3 % à la production attendue (coefficient de persistance moyen de 0,92).

- a diminué le taux butyreux en moyenne d'1,3 g/kg pour les laits au niveau de l'exploitation et de 0,3 g/l pour les laits au niveau du groupe d'exploitations (tableau III.5).

**Tableau III.5 - Influence de l'ajustement des rations
aux recommandations INRA sur la production et la qualité du lait**

	Pratiques initiales	Recommandations	Variation (%)
<u>Laits au niveau de l'exploitation</u>			
n	16	16	
Production laitière (kg) attendue/persistance théorique	25,5 (3,2)	24,8 (3,3) 24,2	+ 3/persistance
TB (g/kg)	40,0 (2,4)	38,7 (2,7)	- 3,2
TP (g/kg)	28,7 (1,0)	29,6 (1,3)	+ 3,1
Taux de caséines (g/kg)	23,7 (0,8)	24,5 (1,2)	+ 3,1
% caséines/protéines	82,7 (0,9)	82,9 (1,1)	
% α S -CN	47,1 (1,0)	47,2 (1,0)	
% β -CN	35,4 (1,5)	34,0 (1,2)	
% γ K-CN	17,5 (1,5)	18,8 (1,1)	
% α la	30,9 (2,8)	29,1 (2,9)	
% β Ig A	40,0 (6,7)	41,1 (7,4)	
% β Ig B	29,1 (4,5)	29,8 (5,5)	
QMP (g/VL/j)	736 (80)	740 (86)	
<u>Teneurs en minéraux (g/l)</u>			
Calcium	1,01 (0,11)	1,07 (0,09)	+ 5,6
Sodium	0,38 (0,02)	0,27 (0,02)	- 2,6
Phosphore	0,96 (0,06)	0,93 (0,03)	- 2,1
pH	6,59 (0,04)	6,77 (0,03)	
Taille micellaire (nm)	195 (8)	196 (6)	
R (min)	28,5 (4,6)	27,7 (3,0)	
K 20 (min)	49,0 (13,6)	31,3 (11,4)	
<u>Laits au niveau du groupe d'exploitations</u>			
n	2	2	
TP (g/l)	29,5	30,4	+ 3,2
TB (g/l)	39,6	39,3	- 0,7
Rendement frais J+1	13,0	13,0	-
Rendement frais J+3	12,4	12,8	+ 3,2
Rendement frais J+10	11,6	12,2	+ 4,9
Rendement sec J+10	5,00	5,05	+ 1,2

Comparée à la forte variabilité journalière du taux butyreux, cette diminution est peu importante.

- a augmenté le taux protéique de 0,9 point en moyenne, soit + 3,1 % et + 3,2 % respectivement pour les laits produits au niveau de l'exploitation et au niveau du groupe d'exploitations. Le TP moyen par exploitation a varié de + 0,4 g/kg à + 2,3 g/kg, sauf dans un élevage où il a diminué de 0,4 g/kg, après réduction des apports par rapport à l'excédent initial.

- a augmenté le taux de caséines des laits par exploitation de 0,8 g/kg (+ 3,1 %). Le pourcentage de caséines dans les protéines totales n'est pas influencé.

Les pourcentages des différentes caséines et protéines du lactosérum mesurés sur les laits produits au niveau de l'exploitation (tableau III.5) sont conformes aux données de la bibliographie (BRUNNER, 1981 ; ALAIS, 1984). Ils n'évoluent pas avec l'ajustement des rations aux recommandations.

Ces résultats permettent un bon maintien des quantités de matière protéique (+ 4 g/VL/j), alors qu'avec l'effet du stade de lactation (115 j en moyenne en début d'essai), une diminution des quantités de matière protéique était prévisible.

La teneur en calcium augmente de plus de 5 % sous l'effet de l'ajustement, les teneurs en sodium et en phosphore diminuent peu.

Le pH augmente de 0,2 unité lorsque les rations sont ajustées aux recommandations. La taille micellaire n'évolue pas.

Le temps de coagulation (R) n'est pas influencé par l'ajustement des apports. Par contre le temps d'obtention de la fermeté standard (K_{20}) diminue. Si une corrélation significative entre le temps de coagulation et la teneur en protéines ou en caséines est rarement signalée (LINDSTROM et al, 1984 ; QUELEN et KERJEAN, 1987 ; COULON et al, 1988 a), par contre la fermeté du coagulum est liée significativement à la teneur en protéines ou en caséines (STORRY et al, 1983 ; GRANDISON et al, 1984, 1985 b, 1985 c ; MARZIALI et Ng KWAI HANG, 1986 b ; QUELEN et KERJEAN, 1987 ; COSSIN, 1988 ; VERTES et al, 1989 a). La teneur en calcium favorise également la coagulation et le raffermissement du gel (GRANDISON et al, 1984 ; LENOIR et VEISSEYRE, 1987 ; QUELEN et KERJEAN, 1987 ; SCHEER, 1988 ; LAURENT et al, sous presse). En fait, le temps de coagulation dépendrait surtout de la teneur en calcium colloïdal (GRANDISON et al, 1984) (ici seule la teneur en calcium total a été mesurée).

Les rendements fromagers frais et secs mesurés en usine à J+10 (emballage) augmentent respectivement de 0,6 kg/100 l (+ 4,9 %) et de 0,05 kg MS/100 l (+ 1,2 %).

Tableau III.6 - Influence de la distribution supplémentaire de 2,5 kg de concentré sur la production et la qualité du lait

	Recommandations	Distribution supplémentaire de 2,5kg de concentré	Variation (%)
<u>Laits au niveau de l'exploitation</u>			
n	15	15	
Production laitière (kg)	24,5 (2,9)	24,9 (3,2)	+ 2,0
TB (g/kg)	38,4 (2,3)	37,6 (2,6)	- 2,1
TP (g/kg)	29,6 (1,2)	30,2 (1,4)	+ 2,0
Taux de caséines (g/kg)	25,7 (1,2)	26,3 (1,2)	+ 2,3
% caséines/protéines	86,8 (2,8)	87,1 (2,2)	
% αS -CN	45,4 (1,1)	46,3 (1,9)	
% β-CN	35,8 (1,6)	35,4 (2,5)	
% γK-CN	18,8 (1,2)	18,2 (1,2)	
%α1a	27,7 (2,5)	27,7 (2,6)	
% β Ig A	41,8 (6,6)	41,0 (7,0)	
% β Ig B	30,5 (6,4)	31,3 (6,2)	
QMP (g/VL/j)	730 (71)	757 (79)	+ 4,0
Teneurs en minéraux (g/l)			
Calcium	0,92 (0,09)	0,95 (0,14)	+ 4,3
Sodium	0,40 (0,03)	0,40 (0,03)	-
Phosphore	1,02 (0,14)	1,08 (0,14)	+ 6,9
pH	6,74 (0,05)	6,74 (0,04)	
Taille micellaire (nm)	191 (7)	189 (8)	
R (min)	28,5 (3,9)	27,2 (7,3)	
K 20 (min)	48,2 (28,7)	39,0 (20,5)	
<u>Laits au niveau du groupe d'exploitations</u>			
n	2	2	
TP (g/l)	30,4	30,9	+ 1,6
TB (g/l)	38,6	38,0	- 1,5
Rendement frais J+1	12,4	12,5	+ 0,6
Rendement frais J+3	11,7	11,8	+ 0,9
Rendement frais J+10	11,1	11,2	+ 0,5
Rendement sec J+10	4,90	4,97	+ 1,4

Ces résultats seraient à corriger de l'effet du stade de lactation, favorable à une remontée des taux.

1.2.2 - Apport supplémentaire de 2,5 kg de concentré

Le concentré distribué est caractérisé par une valeur UFL comprise entre 0,93 et 1,00, avec un rapport PDI/UFL variant entre 100 et 135. Les apports réels ont sans doute été inférieurs aux apports théoriques du fait de la substitution mais l'absence de mesure précise des quantités de fourrage ingérées ne permet pas de quantifier ce phénomène.

Le schéma avec inversion des traitements retenu pour cette séquence expérimentale avait pour objectif de gommer au maximum l'effet temps. Chaque groupe d'exploitation a donc reçu alternativement des apports alimentaires correspondant aux recommandations ou ces apports augmentés de 2,5 kg de concentré. Les résultats moyens présentés sont donc équilibrés et indépendants d'un éventuel effet stade de lactation ou d'un effet temps.

L'apport supplémentaire de 2,5 kg de concentré :

- a augmenté la production laitière de 0,4 kg
- a diminué le taux butyreux en moyenne de 0,8 g/kg pour les laits au niveau de l'exploitation et de 0,6 g/l pour les laits au niveau du groupe d'exploitations (tableau III.6)
- a augmenté le taux protéique de 0,6 g/kg en moyenne pour les laits d'exploitation et de 0,5 g/l pour les laits au niveau du groupe d'exploitation, soit respectivement 2,0 et 1,6 %. Ces valeurs moyennes masquent une plage de variations comprise de 0 à 1,5 g/kg suivant les élevages (le TP a diminué dans un élevage caractérisé par un très faible potentiel génétique taux : ITMMU = - 1,3).

- a augmenté le taux de caséines des laits par exploitation de 0,6 g/kg (+ 2,3 %) mais le pourcentage de caséines dans les protéines totales n'est pas modifié.

Les pourcentages des différentes caséines et protéines du lactosérum mesurés sur les laits produits au niveau de l'exploitation sont proches de ceux mesurés lors des deux premières phases. Ils n'évoluent pas avec l'augmentation de l'apport de concentré.

La quantité de matière protéique augmente en moyenne de 27 g/VL/l (+4 %) sous l'effet de l'apport supplémentaire de concentré.

Les teneurs en calcium et phosphore augmentent légèrement alors que la teneur en sodium est stable.

Le pH, la taille micellaire et le temps de coagulation ne sont pas influencés par le niveau d'apport de concentré. La tendance à la diminution du temps d'obtention de la

Tableau III.7 - Influence du tri de 10 % des multipares sur la valeur du TP

	Essais préliminaires												Essais "maîtrise de l'apport énergétique"						Toutes données confondues	
	Période 1 : Hiver			Période 2 : Fin d'hiver			Période 3 : Mise à l'herbe			Période 4 : Pâturage d'été			Phase Recommandations			Phase +2,5kg de concentré				
	n	100% des VL	90% des VL	n	100% des VL	90% des VL	n	100% des VL	90% des VL	n	100% des VL	90% des VL	n	100% des VL	90% des VL	n	100% des VL	90% des VL	Variation moyenne	Sens de variation
TP (g/kg)	10	29,01	29,25	9	28,70	28,89	6	29,70	30,07	9	30,00	30,14	14	31,97	32,27	15	29,46	29,67	+ 0,24	> 0 dans 55 cas sur 63
TB (g/kg)	10	36,97	37,36	10	38,11	38,43	10	36,61	36,80	9	38,03	38,42	14	38,76	39,13	15	37,08	37,42	+ 0,33	> 0 dans 64 cas sur 68
Production laitière (kg/VL/j)	10	24,5	24,1	10	22,2	21,9	10	20,8	20,4	9	17,7	17,4	14	24,9	24,6	15	25,4	25,1	- 0,30	< 0 dans 60 cas sur 68
QMP (g/VL/j)	10	714	708	10	651	647	10	639	629	9	528	525	14	722	719	15	749	744	- 5,00	< 0 dans 52 cas sur 68
Stade de lactation (sem)	10	19,5	19,6	10	25,8	25,9	10	30,1	30,2	9	35,4	35,7	14	18,7	18,5	15	22,2	22,0	0	
Taux de caséines (g/kg)	10	23,38	24,06	9	24,13	25,00	6	23,88	24,67	9	25,45	25,14	14	27,76	28,18	15	25,7	25,6	+ 0,33	> 0 dans 42 cas sur 63
% caséines/protéines	10	80,3	83,6	10	84,4	87,1	10	83,3	83,7	9	84,5	83,3	14	84,3	84,8	15	84,2	83,9	+ 0,80	
% caséines																				
%αS-CN	7	54,2	55,0	10	50,5	53,4	10	50,8	51,7	8	48,8	49,2	14	46,9	46,7	15	47,5	47,6	+ 0,7	
%β-CN	7	30,1	27,9	10	33,7	33,0	10	33,0	31,8	8	33,9	32,5	14	35,0	35,7	15	33,4	33,8	- 0,5	
%YK-CN	7	15,7	17,1	10	15,8	13,6	10	16,2	16,5	8	17,3	18,3	14	18,1	17,6	15	18,9	19,1	- 0,1	
% protéines du lactosérum																				
%αla	10	33,1	32,8	8	27,7	30,2	9	27,7	31,3	-	-	-	14	29,3	29,6	7	29,4	30,3	+ 1,2	
%βlg	10	66,9	67,2	8	72,3	69,8	9	72,3	68,7	-	-	-	14	70,7	70,4	7	70,6	69,7	- 1,2	
pH	10	6,68	6,68	10	6,75	6,75	10	6,68	6,69	9	6,63	6,57	14	6,76	6,76	15	6,65	6,66	0	
Taille micellaire (nm)	10	201	203	10	209	212	10	208	203	9	204	203	14	196	194	15	185	185	- 0,5	
R (min)													14	27,3	27,1	15	24,1	23,6	- 0,3	
K20 (min)													14	30,6	31,3	15	36,7	32,5	- 1,8	

fermeté standard avec l'augmentation des apports énergétiques, suite à l'effet favorable des apports de concentré sur le taux protéique et le taux de caséines, est confirmée.

L'augmentation du concentré a peu d'effet sur les rendements fromagers frais mais l'augmentation du rendement fromager sec mesuré à J+10 est plus importante (+ 1,4 %). En effet, les extraits secs des fromages fabriqués avec le lait des vaches recevant 2,5 kg de concentré supplémentaire sont plus élevés de 0,5 %.

1.2.3 - Conclusion

L'augmentation du niveau des apports énergétiques, même au dessus des recommandations, en alimentation hivernale a permis d'améliorer les teneurs en protéines et en caséines du lait et par suite les rendements fromagers. Les teneurs en protéines ont plus augmenté lors du réajustement des rations aux recommandations (+ 0,9 g/kg) que lors de la supplémentation en concentré (+ 0,6 g/kg).

La réponse est variable d'une exploitation à l'autre. La prise en compte des autres facteurs de production (potentiel génétique - stade de lactation - niveau de production laitière) est nécessaire afin de préciser leur part relative dans ces variations.

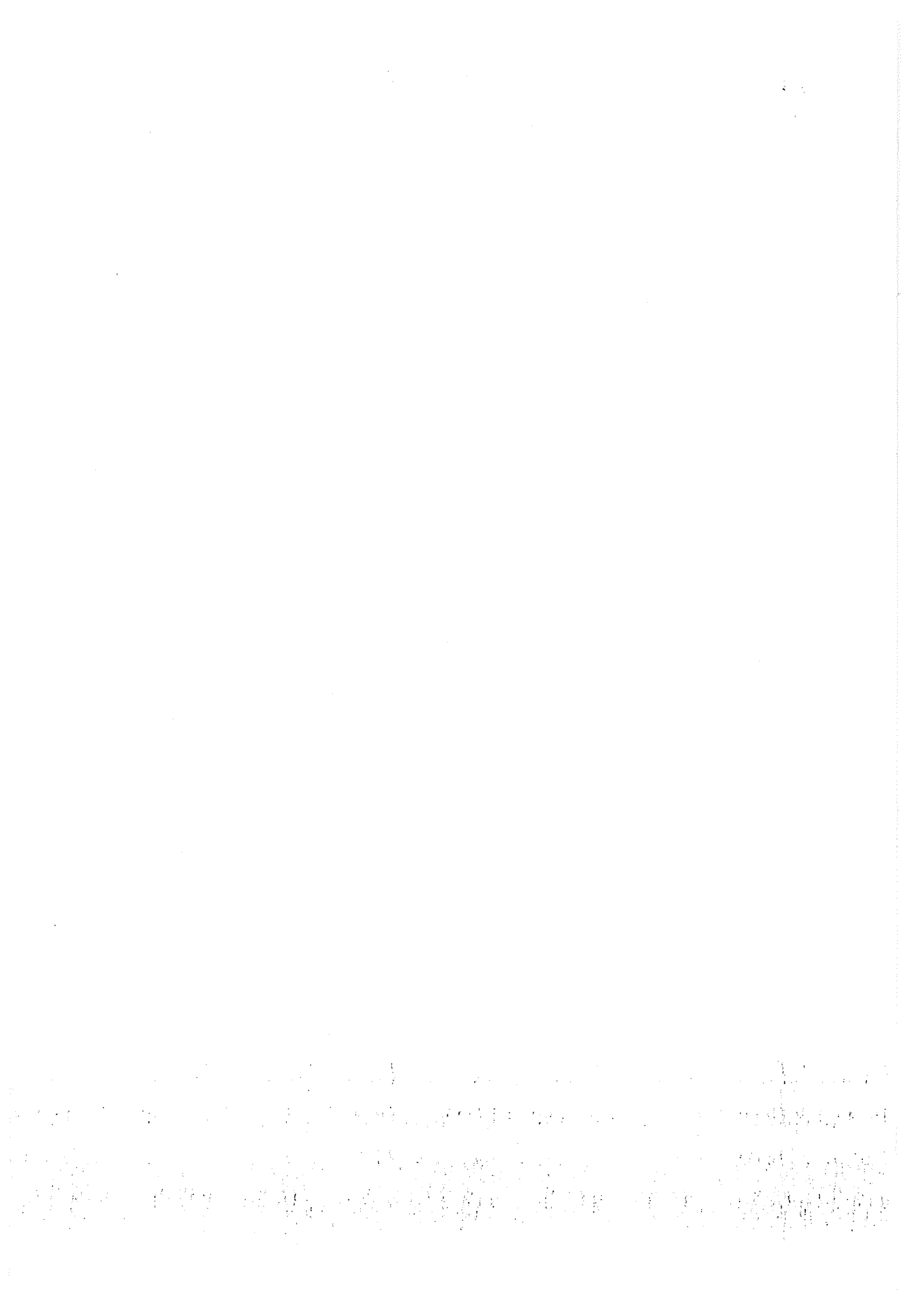
II - Effet de la sélection : tri des VL sur la valeur du TP

II.1 - Résultats

L'élimination de 10 % des vaches multipares aux plus faibles TP entraîne une augmentation moyenne du taux protéique variant entre 0,2 et 0,4 g/kg (tableau III.7), avec un gain de TP moyen, toutes données confondues, égal à 0,24 g/kg.

Le tri effectué sur le TP permet également une augmentation du taux butyreux (0,33 g/kg en moyenne) mais réduit la production laitière des vaches restant après tri de 0,3 kg/VL/j. Il en résulte une faible diminution des quantités de matière protéique, soit - 5 g/VL/j en moyenne (plage de variation comprise entre - 3 et - 10 g/VL/j).

Le tri a également fait varier la part des caséines dans les protéines totales, avec des variations du taux de caséines plus importantes que celles du taux protéique, entre - 0,3 et + 0,9 g/kg (+ 0,33 g/kg en moyenne, toutes données confondues).



Ni les pourcentages des différentes caséines et protéines du lactosérum, ni le pH et la taille micellaire ne sont significativement modifiés par le tri des animaux. Quant aux paramètres technologiques, le temps de coagulation n'a pas varié ; le temps d'obtention de la fermeté standard a légèrement diminué lors de la phase supplémentation en concentré.

II.2 - Facteurs de variabilité des écarts de TP

La plage de variation du TP consécutive à l'élimination de 10 % des animaux est comprise entre 0 et +0,8 g/kg. Dans certains cas (8 sur 63 tris effectués), le tri abaisse le TP moyen pour le reste du troupeau. Plusieurs critères peuvent être pris en compte pour expliquer cette variabilité :

- le TP moyen du troupeau et l'écart entre TP des vaches triées (moyenne pondérée par la production laitière) et TP du troupeau.

- le pourcentage de primipares dans le troupeau et leur TP moyen. Les primipares échappant au tri, leur niveau de TP par rapport au reste du troupeau peut peser sur le gain de TP.

- le stade de lactation moyen du troupeau et l'écart entre stades de lactation moyen des VL triées et du troupeau. Il faut vérifier que le tri des animaux n'a pas affecté sensiblement le stade physiologique moyen du troupeau, auquel cas la variation observée pourrait être due en grande partie à un âge moyen du lait différent.

Les coefficients de corrélation entre ces critères et le gain de TP obtenu par le tri sont faibles :

	r
Gain de TP - TP du troupeau	-0,18
" Ecart TP du troupeau et TP VL triées	+0,19
" Pourcentage de primipares	+0,16
" TP primipares	-0,17
" Stade de lactation moyen du troupeau	-0,06
" Ecart stade du troupeau et stade VL triées	-0,08

Ces coefficients n'étant pas significatifs au seuil de 10 %, aucun des critères considérés n'intervient pour expliquer la variabilité de gain de TP.

Tableau III.8 - Evolution dans le temps de la composition physicochimique et technologique du lait

Essais "Maîtrise de l'apport énergétique"

	Phase 1 24-Janvier	Phase 2 14-Février	Phase 3 7-Mars	Phase 4 28-Mars
TP (g/kg)	28,7	29,5	29,7	30,0
T Cas (g/kg)	23,7	24,5	25,6	26,2
ANP (mg/l)	255	272	284	308
Pourcentages de caséines				
% α S -CN	47,1	47,2	44,8	46,9
% β -CN	35,3	34,0	36,6	34,5
% γ K-CN	17,6	18,8	18,6	18,5
Pourcentages de PLS				
% α la	30,7	29,2	29,6	25,9
% β Ig A	40,6	41,3	40,9	41,7
% β Ig B	28,7	29,5	28,9	32,4
pH	6,59	6,77	6,71	6,77
Taille micellaire (nm)	195	196	195	185
R (min)	28,5	27,7	26,8	28,8
K 20 (min)	48	31	28	59
Teneurs en minéraux (g/l)				
Calcium	1,01	1,07	1,03	0,85
Sodium	0,38	0,37	0,37	0,42
Phosphore	0,95	0,93	1,15	0,97
Rendement fromager J+10				
frais (kg/100l)	11,6	12,2	11,8	10,4
sec (kg MS/100l)	4,98	5,05	4,95	4,92
Extrait sec des fromages (%)	40,1	41,5	41,9	47,2

III - Influence des différents facteurs de production

III.1 - Evolution dans le temps des teneurs en protéines, des paramètres technologiques et du rendement fromager des laits

L'évolution de la composition physicochimique et des rendements fromagers dans le temps est caractérisée pour les laits produits au cours des essais "maîtrise de l'apport énergétique" (alimentation hivernale - prélèvements de fin janvier à fin mars).

Le TP et le taux de caséines des laits augmentent dans le temps, par suite des effets cumulés du niveau d'apport énergétique et du stade de lactation (tableau III.8). La teneur en ANP augmente, plus rapidement que la teneur en protéines : sa proportion dans les MAT passe de 5,2 % lors de la 1^{ère} phase à 6,0 % lors de la 4^{ème} phase. Les proportions relatives des différentes caséines varient peu ; la proportion d' α tend à diminuer en fin d'hiver au profit de la β lg β .

Le pH est plus faible lors de la 1^{ère} phase ; la taille micellaire diminue lors de la 4^{ème} phase. Le temps de coagulation varie peu alors que le temps d'obtention de la fermeté standard augmente mais la variabilité est forte d'une semaine à l'autre. La force de la présure, non contrôlée par utilisation d'un lait témoin, peut intervenir dans cette variabilité.

Les teneurs en minéraux présentent une variabilité importante : la teneur en calcium diminue fortement pour les laits de fin d'hiver alors que la teneur en sodium augmente. Ces variations expliquent sans doute une partie de l'augmentation de la fermeté standard. L'absence de répercussion sur le temps de coagulation paraît étonnante, compte tenu des résultats de GRANDISON et al, 1984 ; LENOIR et VEISSEYRE, 1987 ; QUELEN et KERJEAN, 1987 et SCHEER, 1988. Il serait intéressant de connaître la répartition des minéraux entre la phase soluble et la phase colloïdale.

Le rendement fromager frais diminue fortement lors de la 4^{ème} phase (-12 % par rapport à la 3^{ème} phase). Le rendement sec diminue dans des proportions plus faibles, les extraits secs des fromages fabriqués en phase 4 étant nettement plus élevés (+13 %).

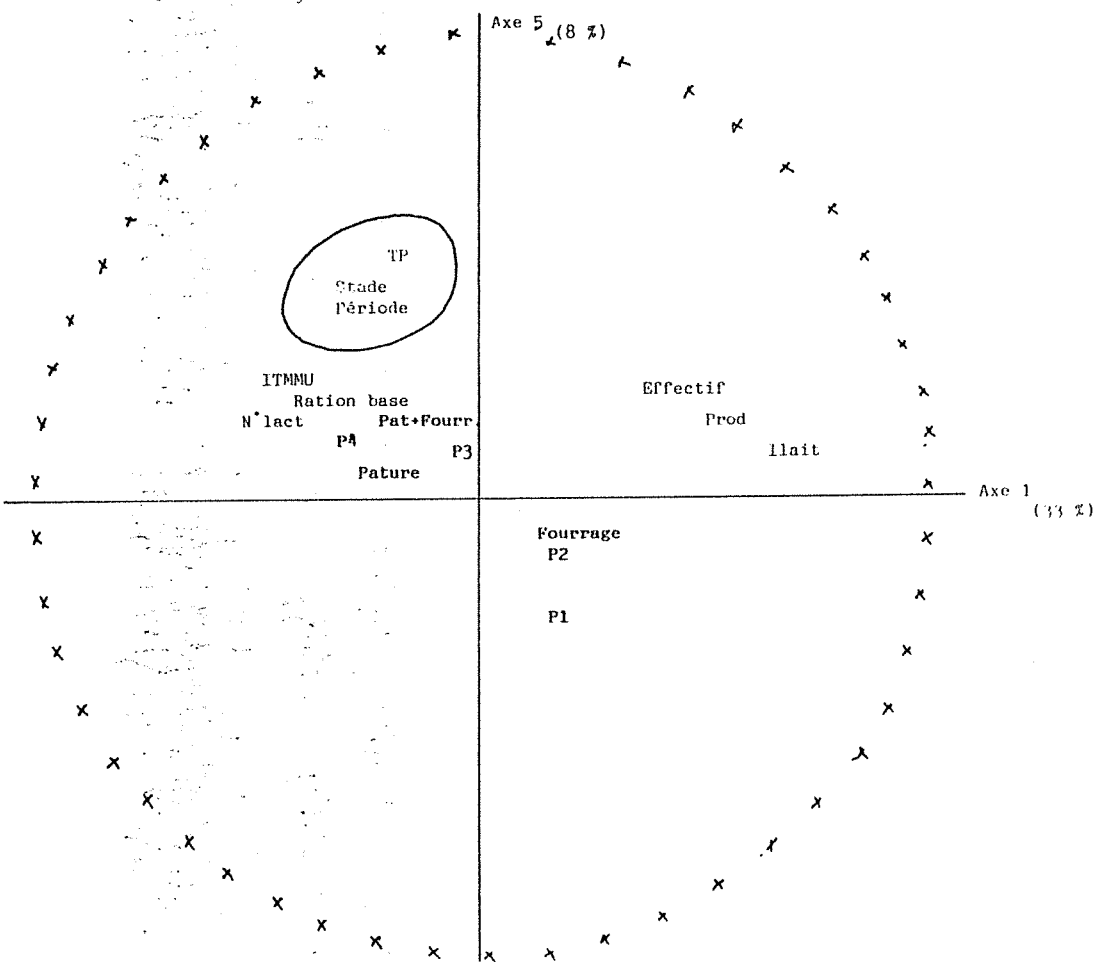
Compte tenu de l'augmentation du TP et du taux de caséines, ainsi que de la diminution de la taille micellaire, une augmentation du rendement fromager était probable. Bien que l'accroissement de la teneur en urée du lait ait un effet défavorable sur le rendement fromager frais mais favorable sur la teneur en MS des fromages (BRUN-BELLUT, communication personnelle), la variation de la teneur en ANP mesurée est trop faible pour expliquer les variations de rendement frais et de teneur en MS des fromages enregistrées. De même, la variabilité des teneurs en minéraux peut difficilement expliquer ces variations.

Figure III.2 : ACP sur les données de l'essai préliminaire

(n = 72)

Plan 1-5 : 4.1% de la variation totale

Seules les variables suffisamment expliquées par les axes 1 et 5 sont représentées.



TP, Période et Nature de la ration de base projetés en variables supplémentaires

P1, P2, P3, P4: Moyenne des individus pour chaque période
Fourrage, Pât, Pâture, Pât.+Fourr.: Moyenne des individus pour chaque type de ration de base

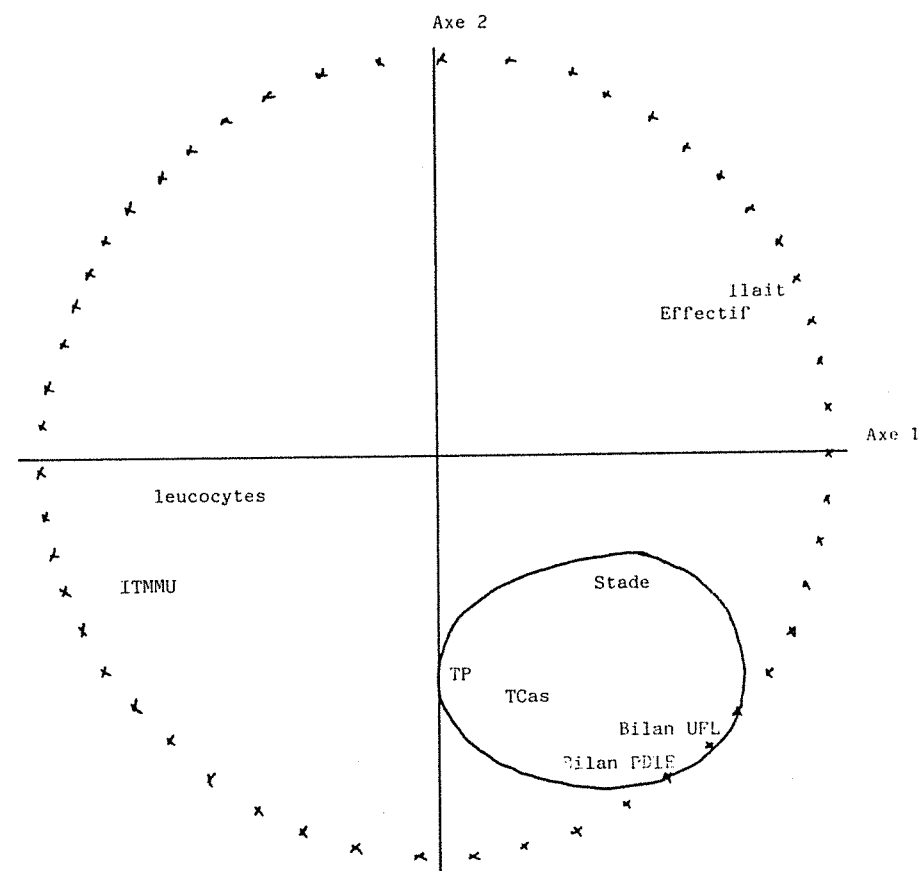
Figure III.3 : ACP sur les données de l'essai "maîtrise de l'apport énergétique"

(n = 56)

Plan 1-2 : Axe 1 porte 33% de la variation totale

Axe 2 porte 19% de la variation totale

Seules les variables suffisamment expliquées par les axes 1 et 2 sont représentées



TP et TCas projetés en variables supplémentaires

Des facteurs autres que la composition physicochimique des laits, notamment les conditions de transformation (humidité des salles de transformation et d'affinage) ont sans doute contribué à cette chute du rendement frais.

III.2 - Facteurs zootechniques influençant le TP

Les analyses factorielles des correspondances (AFC) réalisées successivement sur les données des essais préliminaires et "maîtrise de l'apport énergétique" permettent de relativement bien discriminer les exploitations en fonction des variables zootechniques, mais les variables de composition du lait (variables supplémentaires) sont médiocrement représentées. Les variables explicatives retenues et donc les modalités (24 et 29 respectivement lors des essais préliminaires et "maîtrise de l'apport énergétique") sont sans doute trop nombreuses par rapport au nombre d'observations (76 et 60 respectivement). L'AFC ne permet donc pas, dans les conditions de ces essais, d'expliquer les différences de composition protéique des laits par les paramètres zootechniques.

III.2.1 - Essais préliminaires

L'analyse en composante principale (ACP) prend en compte comme variables actives les variables zootechniques suivantes :

- effectif du troupeau
- numéro et stade de lactation
- production laitière
- potentiel génétique

Les variables de composition du lait, la nature de la ration de base et la période sont projetées comme variables supplémentaires.

Le plan permettant d'avoir la meilleure représentation des variables de production et de composition du lait est constitué par les axes 1 et 5 qui portent 41 % de la variation totale (figure III.2).

Les variables les plus liées à l'axe 1 sont l'index lait et la production laitière, l'effectif du troupeau et le numéro de lactation n'y sont que moyennement représentés. Le stade de lactation n'est que moyennement représenté sur l'axe 5, ainsi que la période et le taux protéique : cet axe est d'ailleurs peu significatif.

La période et le stade de lactation sont les deux variables les plus liées au taux protéique du lait ($r = 0,51$ et $0,34$ respectivement). Compte tenu de la nature des facteurs de

production mesurés et des périodes de mesure choisies, l'effet période est très marqué. Il inclut l'effet de la ration de base : les vaches laitières recevaient une alimentation hivernale lors des deux premières périodes et consommaient de l'herbe lors des deux dernières. Les TP les plus élevés correspondent à la mise à l'herbe et à la période estivale, périodes où le stade de lactation est plus avancé.

L'effet prédominant de la période sur les variations de TP mesurées n'a pas permis de caractériser l'influence des autres paramètres zootechniques.

III.2.2 - Essais "maîtrise de l'apport énergétique"

L'analyse en composante principale prend en compte comme variables actives les variables zootechniques suivantes :

- effectif du troupeau
- numéro et stade de lactation
- production laitière
- potentiel génétique
- bilans énergétiques et azotés

Les variables de composition du lait (taux protéique, taux de caséines, pourcentages des différentes caséines et protéines du lactosérum) sont projetées comme variables supplémentaires, ainsi que la nature de la ration de base.

Deux exploitations ont été éliminées de l'analyse, l'une pour données manquantes, l'autre, caractérisée par un TP faible et un index TMMU très faible, étant trop différente de l'ensemble des élevages.

Le plan permettant d'avoir la meilleure représentation des variables de production et de composition du lait est constitué par les axes 1 et 2 qui portent 52 % de la variation totale (figure III.3).

Le premier axe est déterminé par le potentiel génétique du troupeau (index lait et index taux en opposition). Les exploitations à index lait élevé sont les exploitations à effectifs les plus importants et produisent des laits à faible dénombrement cellulaire. Les variables les plus liées au deuxième axe sont les bilans énergétiques et azotés des troupeaux.

Le taux protéique et le taux de caséines sont bien représentés sur le 2^{ème} axe : ils sont liés aux bilans énergétiques et azotés ($r = 0,49$ et $0,30$ respectivement). Le stade de lactation est moyennement représenté sur les axes 1 et 2 ; il est cependant lié au TP ($r = 0,41$).

La ration de base n'est que médiocrement représentée sur l'axe 1 et très mal sur l'axe 2. Le TP n'est donc pas lié à la nature de la ration de base. Dans les conditions de cette étude, l'éventuelle différence de qualité des fourrages distribués est prise en compte

dans le calcul du bilan énergétique. Les types de ration de base ne diffèrent d'ailleurs que partiellement ; chaque élevage, sauf un, utilise au moins 50 % des fourrages sous forme de maïs ensilage.

III.3 - Hiérarchisation des facteurs zotechniques explicatifs du TP

III.3.1 - Laits de mélange

La hiérarchisation des facteurs zotechniques influençant le TP est réalisée par régression progressive ascendante sur les données des essais "maîtrise de l'apports énergétique".

Bien que la réponse aux apports énergétiques soit plus importante lorsqu'on se situe en dessous des besoins qu'au dessus, l'analyse a été effectuée sur l'ensemble des données. En effet les déficits énergétiques initiaux sont faibles, ils n'excèdent pas 2UFL. De plus la fréquence de ces déficits (6 cas sur 16) n'aurait pas permis de faire deux analyses.

Au seuil de signification de 5 %, les variables qui entrent dans l'équation sont le bilan énergétique, l'index TMMU, le stade de lactation et le bilan azoté (PDIE). Ces 4 variables permettent d'expliquer 52 % de la variabilité du TP ; le bilan énergétique en explique à lui seul 24 % :

Reste à expliquer	48 %	↑ % de variabilité du TP expliquée
Bilan PDIE	4,6 %	
Stade de lactation	10,6 %	
ITMMU	12,8 %	
Bilan énergétique	24,3 %	

Le modèle de régression obtenu est :

$$\text{TP (g/kg)} = 27,79 + 0,605 \text{ Bilan UFL} + 1,377 \text{ ITMMU} + 0,110 \text{ Stade de lactation} \\ - 0,026 \text{ Bilan PDIE} \quad (\text{semaine})$$

$$n = 56 \quad \text{ET}_r = 0,77 \quad r = 0,72$$

Ces coefficients ne sont utilisables qu'à la condition de garder constants les autres paramètres. Dans cet essai, bilan énergétique et bilan PDIE d'une part ($r = 0,81$), stade de lactation et bilans énergétiques ou azotés d'autre part ($r = 0,31$ ou $0,32$ respectivement) sont corrélés. Ainsi, chaque variation d'un facteur de production entraîne la variation simultanée d'un autre facteur de production, qui agit directement sur le TP. Il est nécessaire de caractériser l'influence de chaque facteur zootechnique sur les autres facteurs de production (calcul de l'effet indirect). Ainsi, pour estimer l'effet global d'une UFL supplémentaire sur le TP, il faut connaître l'effet de cette UFL sur le bilan PDIE et sur le stade de lactation (effets indirects) afin de les cumuler à son effet direct sur le TP (ici $0,60 \text{ g/kg}$).

L'index TMMU n'est corrélé significativement ni au stade de lactation, ni aux bilans énergétiques ou azotés.

Les équations de régression établies entre les différents facteurs de production corrélés sont :

Bilan PDIE	= $40,35 + 94,29 \text{ Bilan UFL}$	$r = 0,81$
Bilan PDIE	= $-166,7 + 13,67 \text{ stade de lactation}$	$r = 0,32$
Bilan UFL	= $-1,57 + 0,114 \text{ stade de lactation}$	$r = 0,31$
Stade de lactation	= $19,59 + 0,849 \text{ bilan UFL}$	$r = 0,31$

Les effets totaux des trois principaux facteurs de production sur le TP sont alors de :

Bilan UFL :	+ $0,45 \text{ g/kg}$ de TP par UFL supplémentaire
Index TMMU :	+ $1,38 \text{ g/kg}$ de TP par point d'index supplémentaire
Stade de lactation :	+ $0,14 \text{ g/kg}$ de TP par semaine de stade supplémentaire

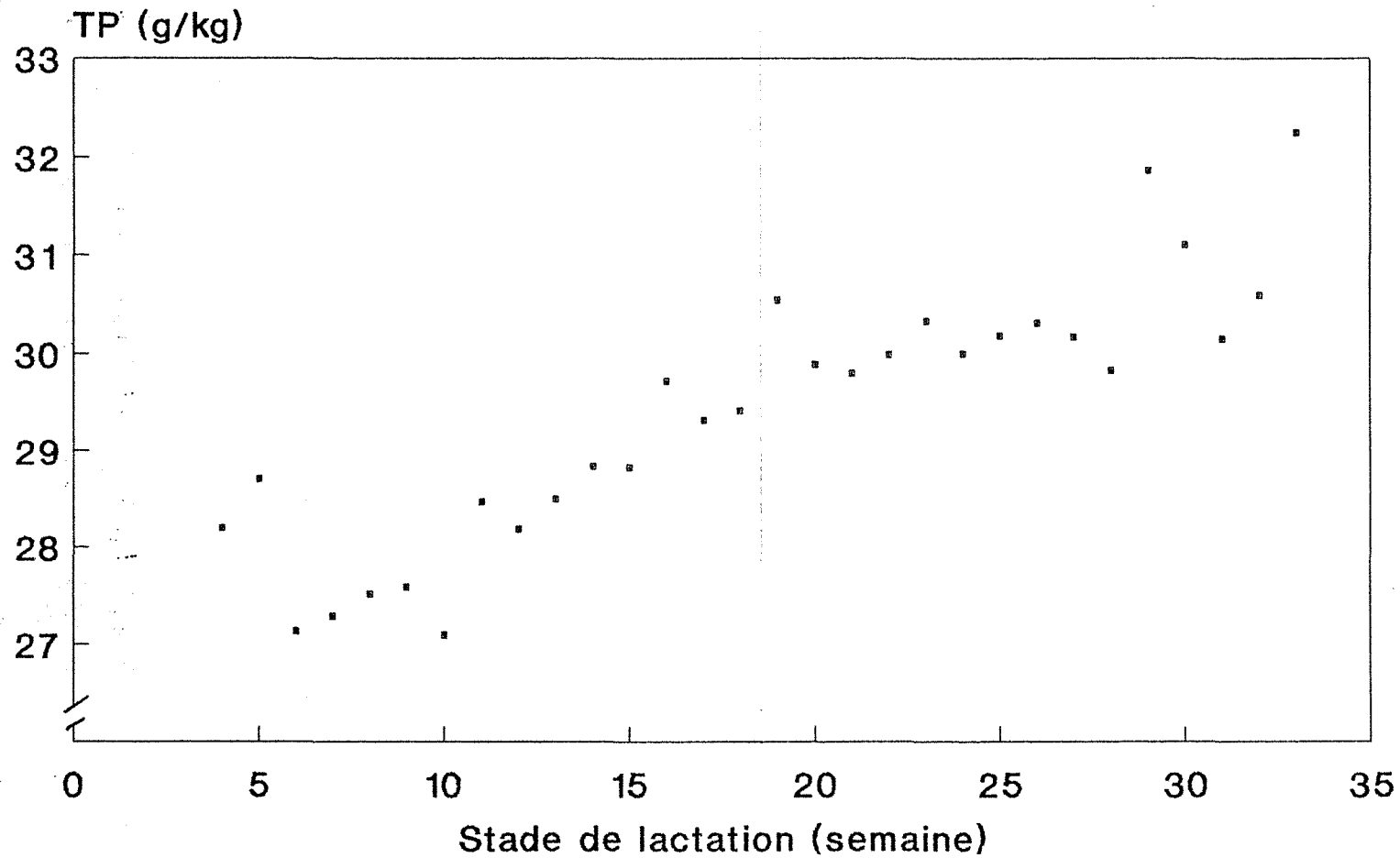
Ces valeurs sont proches de celles établies antérieurement :

- REMOND (1985) estime en moyenne à $0,5 \text{ g/kg}$ l'augmentation de TP par UFL supplémentaire

- Pour KEMPF et SEEGERS (1990), l'augmentation du TP moyen annuel est égale à 1 g/l par point d'ITMMU supplémentaire et à $1,8 \text{ g/l}$ pour le TP hivernal (janvier à mars)

- COULON et al (1988 a) et AGABRIEL et al (1990) chiffrent un gain de TP de $0,8$ à $1,0 \text{ g/kg}$ par mois de lactation dans la phase descendante. Leurs valeurs plus élevées que celles établies dans notre étude ($0,6 \text{ g/kg}$ par mois de lactation supplémentaire) ont été établies sur laits individuels. Les laits de mélange présentent toujours une moindre

Figure III.4. Moyennes ajustées de TP en fonction du stade de lactation



Laits individuels n = 459

variabilité de stade, car le stade de lactation moyen tamponne considérablement les effets des vaches extrêmes, c'est-à-dire à stade de lactation faible ou très élevé. Deux troupeaux à stade de lactation moyen identique peuvent présenter une répartition des stades individuels nettement différente : troupeau constitué de VL à stade proche ou troupeau constitué de VL à stade faible et fort. En conséquence, l'effet des variations du stade moyen pour un troupeau est systématiquement plus faible que l'effet des variations du stade individuel.

III.3.2 - Laits individuels

Compte tenu des remarques précédentes, la hiérarchisation des facteurs zootechniques influençant le TP de laits individuels a également été étudiée pour confronter les résultats obtenus sur ces laits avec ceux provenant des laits de mélange.

L'analyse des données individuelles est réalisée pendant la deuxième phase des essais "maîtrise de l'apport énergétique", tous les troupeaux recevant des apports correspondants aux recommandations INRA. Le traitement est effectué par analyse de variance-covariance ; stade de lactation et élevage figurent comme facteurs, index TMMU et production laitière comme covariables.

Le modèle statistique utilisé est le suivant :

Source de variation	Modalités des facteurs	Degrés de liberté
Stade de lactation (sem)	4 à 33	29
Élevage	1 à 15	14
Index TMMU		1
Production laitière (kg)		1

La variable analysée est le TP. Après élimination des individus extrêmes (stade de lactation supérieur à 35 semaines), l'analyse porte sur 459 VL, multipares uniquement.

Le stade de lactation, l'élevage, l'index TMMU et la production laitière influencent significativement ($p < 0,0001$) le TP. Ce modèle avec 4 variables explique 69 % des variations du TP. Les moyennes ajustées calculées pour les différents stades de lactation sont représentées à la figure III.4. Le TP croit de manière quasilineaire entre la 7^{ème} et la 22^{ème} semaine de lactation. Au delà, la tendance est moins nette mais la pente diminue entre la 23^{ème} et la 28^{ème} semaine.

Pour les VL dont le stade est compris entre 8 et 35 semaines, l'analyse par régression de l'évolution du TP en fonction du stade conduit aux mêmes coefficients de détermination (0,22) avec un modèle exponentiel ou un modèle linéaire.

La régression linéaire ascendante prenant en compte le stade de lactation, la production laitière et l'index TMMU, effectuée sur les données issues de 425 VL (stade compris entre 8 et 35 semaines) permet d'expliquer 49 % de la variabilité du TP :

	% de variabilité du TP expliquée
Reste à expliquer	51 %
Stade	5,5 %
ITMMU	11,6 %
Production laitière	32,0 %

L'équation est la suivante :

$$\text{TP (g/kg)} = 30,34 - 0,124 \text{ Production laitière (kg)} + 0,922 \text{ ITMMU} + 0,149 \text{ Stade de lactation (semaine)}$$

$$n = 425 \quad r = 0,70 \quad ET_r = 2,10$$

Les effets globaux de l'index TMMU et du stade de lactation sont estimés après prise en compte de leur influence sur la production laitière grâce aux équations de régression ci-dessous :

$$\text{Prod. laitière} = 38,74 - 0,667 \text{ Stade de lactation} \quad r = 0,61$$

$$\text{Prod. laitière} = 25,60 - 1,32 \text{ ITMMU} \quad r = 0,26$$

Les effets globaux de l'index TMMU et du stade de lactation sur le TP individuel sont alors :

$$\text{Index TMMU} = + 1,09 \text{ g/kg de TP par point d'index supplémentaire}$$

$$\text{Stade de lactation} = + 0,23 \text{ g/kg de TP par semaine de stade supplémentaire}$$

Les TP individuels varient moins sous l'effet du potentiel génétique que les TP des laits de mélange. A l'inverse, le stade de lactation individuel a une influence plus grande que le stade moyen du troupeau : le coefficient obtenu ici est voisin de ceux estimés par COULON et al (1988 a) et AGABRIEL et al (1990). Ces résultats confirment bien que les variations du TP en fonction du stade sont plus fortes au niveau individuel que pour les laits de mélange.

IV - CONCLUSION

Le caractère exploratoire des essais préliminaires a permis de mesurer les variations de taux protéique à quatre périodes du cycle de production. L'augmentation des apports énergétiques améliore faiblement le TP en cours d'hiver et en été (+0,2 et +0,4 g/kg) mais n'enraye pas les chutes de TP en fin d'hiver. Faute d'enregistrement précis des apports de la ration de base, les bilans énergétiques des animaux n'ont pas été calculés. D'autre part, l'effet période très marqué a sans doute masqué les effets de tout autre facteur influant sur le TP.

Les essais suivants ont permis de mesurer l'influence du niveau des apports énergétiques en alimentation hivernale sur les teneurs en protéines du lait et de vérifier leur effet sur le rendement fromager. La variation de TP se situe, dans les conditions de ces essais, à :

- + 0,45 g/kg par UFL supplémentaire
- + 1,38 g/kg par point d'ITMMU
- + 0,14 g/kg par semaine de stade de lactation

Quant à l'élimination de 10 % des multipares aux plus faibles TP, son effet est faible mais non négligeable : + 0,2 g/kg.

L'influence des paramètres zootechniques sur les paramètres de composition des laits de mélange ne peut pas être transposée à partir des résultats obtenus pour les laits individuels : la plus faible variabilité des caractéristiques zootechniques et de composition des laits de mélange leur confère un comportement propre.

Quelques interrogations subsistent :

- Le pourcentage des caséines et protéines du lactosérum dans les protéines totales varie d'une période à l'autre, même si les apports énergétiques ne semblent pas avoir d'effet direct. La nature des protéines du lait en relation avec le TP et ses variations sera plus particulièrement étudiée en deuxième partie.

- La chute des rendements fromagers frais et les variations de teneur en MS des fromages fabriqués observées en fin d'hiver ne sont que partiellement liées aux variations de composition du lait. L'évolution des rendements fromagers en fin d'hiver sera présentée de façon plus approfondie dans la troisième partie.

Enfin, l'étude des courbes de TP en fonction du stade de lactation laisse présager que la courbe n'est pas strictement linéaire dans la phase descendante de lactation. Cette question mériterait des développements spécifiques.

**Tableau III.9 - Contribution de la variance intra-élevage
à la variance totale pour les variables
de composition protéique des laits**

Estimation des composants de la variance

Variance	Variance Effet élevage	Variance résiduelle
TP (g/kg)	0,58	1,80
T Cas (g/kg)	0,22	2,29
T PLS (g/kg)	0,10	0,86
Teneur en N prot (g/l)	0,009	0,125
Pourcentages des caséines et PLS		
% α -S-CN	0,01	0,09
% β -CN	0,005	0,07
% γ K-CN	0,003	0,05
% α la	0,01	0,43
% β Ig A	0,29	0,54
% β Ig B	0,15	0,44
Teneur des caséines et PLS		
α s-CN (g/kg)	0,10	1,05
β -CN (g/kg)	0,08	0,78
γ K-CN (g/kg)	0,03	0,42
α la (g/kg)	0,02	0,16
β Ig A (g/kg)	0,05	0,23
β Ig B (g/kg)	0,04	0,16

DEUXIEME PARTIE

RELATIONS ENTRE LES CARACTERISTIQUES PHYSICOCHIMIQUES ET TECHNOLOGIQUES DES LAITS

I - Indépendance des données

Les résultats de l'estimation des composants de la variance totale (variance intra-élevage et variance résiduelle) sont présentés au tableau III.9.

La variance intraélevage est toujours nettement inférieure à la variance de l'ensemble des autres facteurs agissant sur les variables de composition protéique des laits. L'hypothèse d'indépendance des échantillons a donc été retenue.

II - Correlations établies 2 à 2 entre les caractéristiques physico-chimiques et technologiques des laits

II.1 - Description de la population

Les teneurs moyennes des différents paramètres de composition des 258 échantillons de laits de troupeau permettant d'établir les corrélations entre caractéristiques physicochimiques et technologiques, ainsi que leur écart type et coefficient de variation, sont présentés au tableau III.10.

La variabilité des teneurs en azote total, azote protéique et du TP est faible. Par contre les teneurs en azote soluble, azote caséique, azote des protéines du lactosérum et en azote non protéique sont nettement plus variables.

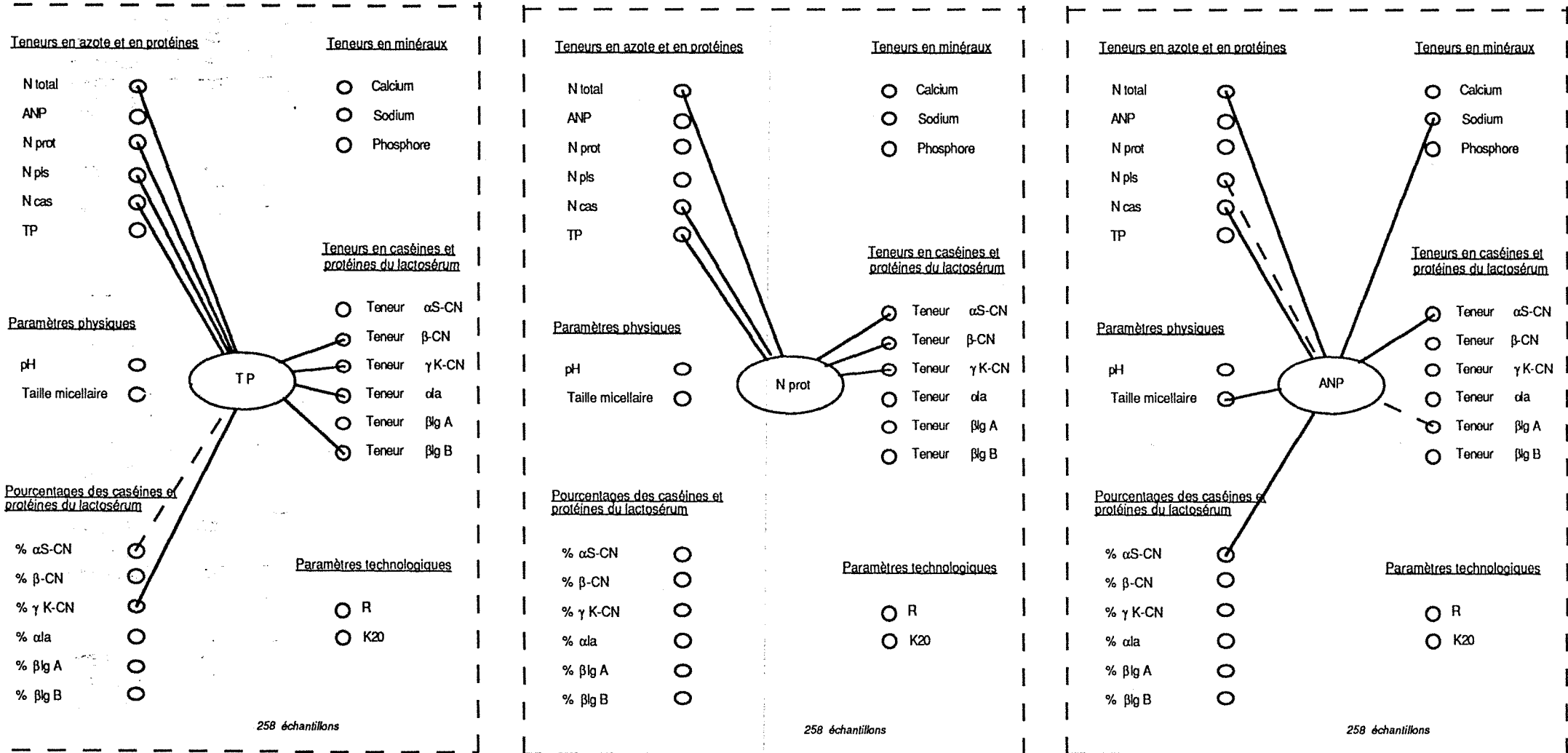
Les pourcentages de protéines du lactosérum présentent des coefficients de variation élevés. Le pourcentage de γ -CN est plus variable que les pourcentages d' α S-CN ou β -CN. Cette forte variabilité transparait pour les teneurs en protéines du lactosérum (coefficients de variation de plus de 30 %).

**Tableau III.10 - Description de la population permettant d'établir
les corrélations entre caractéristiques physicochimiques
et technologiques**

n = 258

Variable	Moyenne	Ecart type	Coefficient de variation (%)
<u>Teneurs en azote (g N/l)</u>			
N total	5,01	0,38	7,6
N prot	4,70	0,37	7,9
N sol	1,02	0,15	14,6
N cas	3,99	0,41	10,2
N PLS	0,71	0,16	21,9
ANP	0,307	0,058	18,9
TP (g/kg)	29,67	1,54	5,2
<u>Pourcentages de caséines et protéines du lactosérum</u>			
% α -S-CN	48,49	3,10	6,4
% β -CN	33,77	2,75	8,0
% γ K-CN	17,74	2,27	13,0
% α la	31,64	6,80	21,5
% β Ig A	40,56	9,12	22,4
% β Ig B	27,80	7,71	27,7
<u>Teneurs en caséines et protéines du lactosérum</u>			
α S-CN	1,94	0,24	12,4
β -CN	1,35	0,17	12,9
γ K-CN	0,71	0,12	16,8
α la	0,22	0,07	31,1
β Ig A	0,29	0,09	30,1
β Ig B	0,20	0,07	36,5
<u>Paramètres physiques</u>			
pH	6,72	0,07	1,0
Taille micellaire (nm)	197,6	10,99	5,5
<u>Paramètres technologiques (2ème année) n = 134</u>			
R (mn)	26,3	4,3	16,4
K20 (mn)	35,3	18,2	51,6
<u>Teneurs en minéraux (g/l)</u>			
Calcium	1,04	0,19	18,6
Sodium	0,41	0,06	14,2
Phosphore	0,98	0,13	13,8

Figure III.5.a : Corrélations entre les teneurs en azote et en protéines et les critères de composition physicochimique et paramètres technologiques



— corrélation positive
 - - - corrélation négative

(significatives à 1%)

Les paramètres physiques, pH et taille micellaire, varient peu.

Parmi les paramètres technologiques, le temps de coagulation varie moins que le temps d'obtention de la fermeté standard.

Les teneurs en minéraux du lait ont des coefficients de variation assez élevés.

Les corrélations significatives au seuil de 1 % figurent à l'annexe 3.

II.2 - Teneurs en azote et en protéines

Les teneurs en azote total, azote protéique et azote caséique sont fortement corrélées ($r > 0,9$). Les teneurs en azote soluble et en azote des protéines du lactosérum sont corrélées négativement à la teneur en azote caséique ($r = -0,38$ et $-0,43$ respectivement). Elles ne sont pas corrélées aux teneurs en azote total ou en azote protéique mais sont significativement liées au taux protéique ($r = +0,25$ et $0,28$ respectivement) (figure III 5a et III 5b).

Le taux protéique est mesuré par infrarouge et la teneur en azote protéique par la méthode de KJELDHAL. Les différences de méthodes peuvent expliquer une partie des variations de corrélation avec les autres paramètres.

a) Taux protéique

Plus la part des caséines α_S dans les caséines totales est forte, plus le TP est faible ($r = -0,23$). Ceci explique l'absence de corrélation entre la teneur en α_S -CN et le TP.

A l'inverse, plus la part des caséines γ_K dans les caséines totales est forte, plus le TP est élevé ($r = +0,17$).

La corrélation positive liant TP et teneur en azote des protéines du lactosérum va de pair avec les liaisons positives entre TP et teneurs en α_L et β_{IgB} (figure III 5a).

b) Teneur en azote protéique

La teneur en azote protéique est corrélée significativement aux différentes teneurs des caséines du lait ($r > 0,65$) mais pas aux protéines du lactosérum (figure III 5a).

c) Teneur en azote non protéique

Les laits à forte teneur en ANP présentent de fortes teneurs en azote total ($r = +0,21$). La liaison positive entre ANP et teneur en azote caséique dépend sans doute de la

*u'ya-ti
pas des
résultats
de jonction*

Figure III.5.b : Corrélations entre les teneurs en azote et en protéines et les critères de composition physicochimique et paramètres technologiques

Teneurs en azote et en protéines

- N total ○
- ANP ○
- N prot ○
- N pls ○
- N cas ○
- TP ○

Paramètres physiques

- pH ○
- Taille micellaire ○

Pourcentages des caséines et protéines du lactosérum

- % αS-CN ○
- % β-CN ○
- % γ K-CN ○
- % αIa ○
- % βIg A ○
- % βIg B ○

Teneurs en minéraux

- Calcium
- Sodium
- Phosphore

Teneurs en caséines et protéines du lactosérum

- Teneur αS-CN
- Teneur β-CN
- Teneur γ K-CN
- Teneur αIa
- Teneur βIg A
- Teneur βIg B

Paramètres technologiques

- R
- K20

258 échantillons

Teneurs en azote et en protéines

- N total ○
- ANP ○
- N prot ○
- N pls ○
- N cas ○
- TP ○

Paramètres physiques

- pH ○
- Taille micellaire ○

Pourcentages des caséines et protéines du lactosérum

- % αS-CN ○
- % β-CN ○
- % γ K-CN ○
- % αIa ○
- % βIg A ○
- % βIg B ○

Teneurs en minéraux

- Calcium
- Sodium
- Phosphore

Teneurs en caséines et protéines du lactosérum

- Teneur αS-CN
- Teneur β-CN
- Teneur γ K-CN
- Teneur αIa
- Teneur βIg A
- Teneur βIg B

Paramètres technologiques

- R
- K20

258 échantillons

Teneurs en azote et en protéines

- N total ○
- ANP ○
- N prot ○
- N pls ○
- N cas ○
- TP ○

Paramètres physiques

- pH ○
- Taille micellaire ○

Pourcentages des caséines et protéines du lactosérum

- % αS-CN ○
- % β-CN ○
- % γ K-CN ○
- % αIa ○
- % βIg A ○
- % βIg B ○

Teneurs en minéraux

- Calcium
- Sodium
- Phosphore

Teneurs en caséines et protéines du lactosérum

- Teneur αS-CN
- Teneur β-CN
- Teneur γ K-CN
- Teneur αIa
- Teneur βIg A
- Teneur βIg B

Paramètres technologiques

- R
- K20

258 échantillons

— corrélation positive
 - - - corrélation négative

(significatives à 1%)

corrélation forte entre teneur en azote total et azote caséique plutôt que d'un effet direct de la teneur en ANP (figure III 5a). COSSIN (1988) rapporte d'ailleurs une corrélation négative entre teneur en caséine et teneur en ANP ($r = -0,33$).

Les laits à teneur en ANP élevée présentent un pourcentage et une teneur en α S-CN élevés. Leur teneur en sodium et leur taille micellaire sont plus importantes (figure III 5a), sans qu'il soit possible de comparer ces données à des résultats bibliographiques similaires.

d) Teneur en azote soluble à pH 4,6

Les laits à forte teneur en azote soluble ont de fortes proportions de β IgB ($r = +0,18$) et de faibles proportions de β IgA ($r = -0,21$) (figure III 5b). Ces résultats sont contraires aux données bibliographiques qui rapportent un effet positif du variant A de la β Ig sur le taux de betalactoglobuline et de protéines du lactosérum du lait (GROSCLAUDE, 1988).

Les laits à forte teneur en azote soluble sont riches en γ K-CN. Cette corrélation découle sans doute de la corrélation positive entre TP et pourcentage de γ K-CN. Par suite, seules les teneurs en α S-CN et β -CN sont corrélées négativement à la teneur en azote soluble (figure III 5b).

e) Teneur en azote des protéines du lactosérum

Les corrélations sont les mêmes que celles établies avec la teneur en azote soluble.

Les laits à forte teneur en azote des PLS présentent un pourcentage en α S-CN faible: la corrélation négative entre TP et pourcentage d' α S-CN doit intervenir puisque le TP est corrélé positivement à la teneur en azote des PLS (figure III 5b).

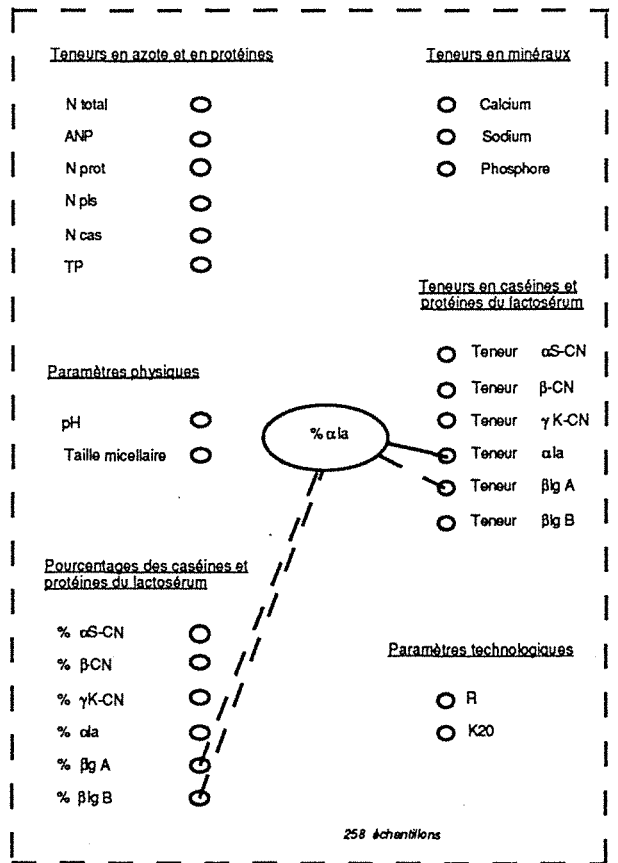
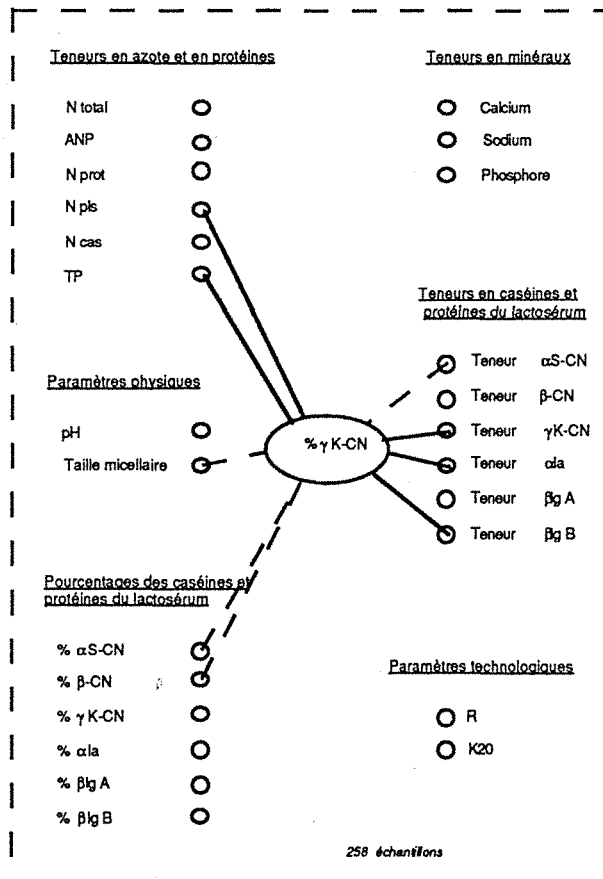
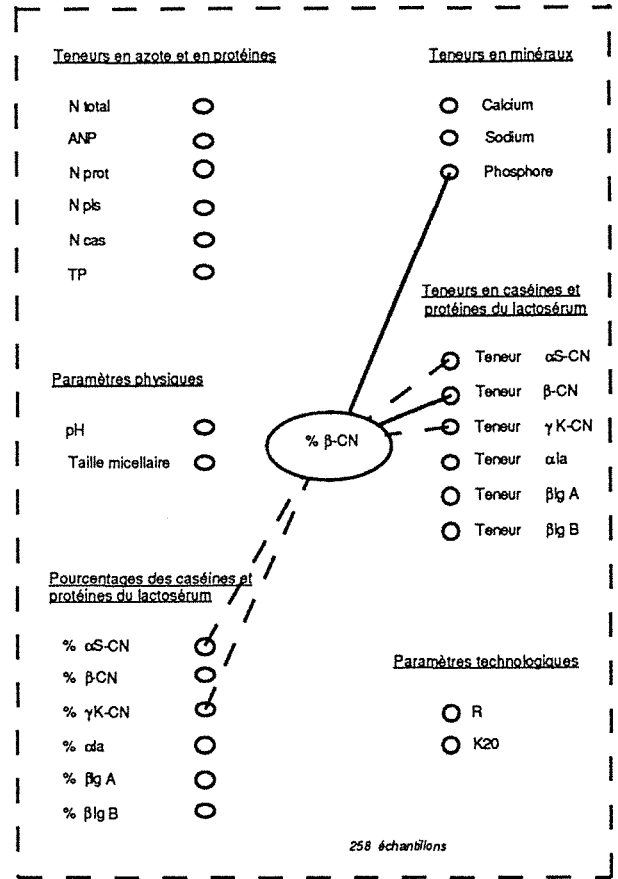
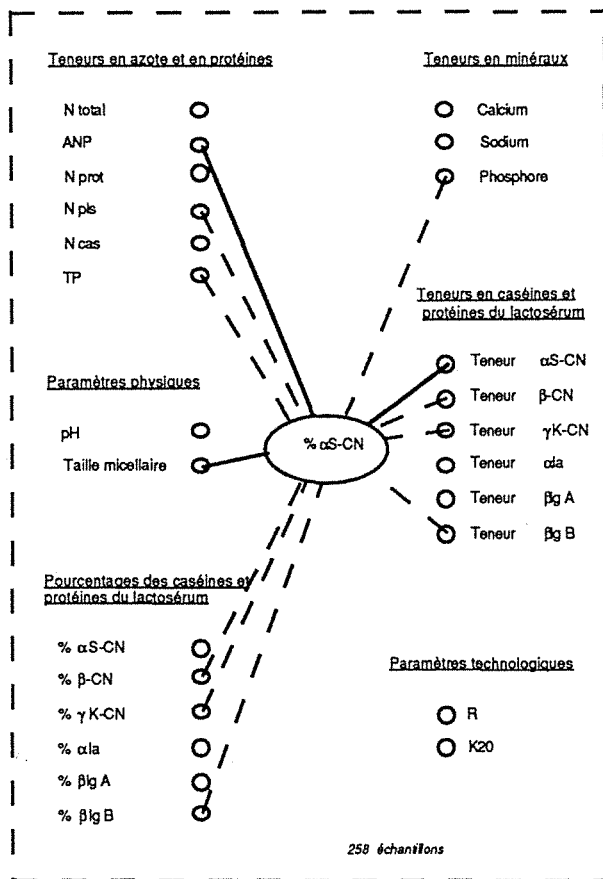
f) Teneur en azote caséique

La teneur en azote caséique est normalement liée positivement aux teneurs des différentes caséines et négativement aux teneurs des différentes protéines du lactosérum (figure III 5b).

II.3 - Pourcentages des différentes caséines et protéines du lactosérum

Les pourcentages de caséines ou PLS sont calculés respectivement par rapport à l'ensemble des caséines et PLS identifiées. Toute variation du pourcentage d'une des

Figure III.6.a : Corrélations entre les pourcentages des différentes protéines et les critères de composition physicochimique et paramètres technologiques



— corrélation positive
 - - - corrélation négative (significatives à 1%)

caséines ou d'une des PLS entraîne donc une variation simultanée des autres caséines ou PLS.

Les corrélations établies avec les teneurs en azote ou le TP, présentées précédemment, ne seront pas rappelées.

a) Pourcentage d' α S-CN

Les laits à forte proportion en α S-CN sont pauvres en β -CN et en γ K-CN, en proportion ($r = -0,71$ et $-0,51$ respectivement) comme en quantité ($r = -0,43$ et $r = -0,38$) (figure III 6a). COSSIN (1988) et LAURENT et al (sous presse) mentionnent également des corrélations négatives entre le pourcentage d' α S-CN et les pourcentages de β -CN (respectivement $-0,76$ et $-0,59$) et de K-CN ($r = -0,49$) ou γ K-CN ($r = -0,63$).

Le pourcentage d' α S-CN est corrélé négativement au pourcentage de β IgB ($r = -0,17$), à la teneur en phosphore ($r = -0,24$) et positivement à la taille micellaire ($r = +0,27$) (figure III 6a). Les données bibliographiques (DAVIES et LAW, 1983 ; FORD et GRANDISON, 1986 ; COSSIN, 1988 ; LAURENT et al, sous presse) corroborent l'observation concernant la taille micellaire. FORD et GRANDISON (1986) ainsi que COSSIN (1988) estiment que cette relation provient de l'influence négative du pourcentage d' α S-CN sur le pourcentage de K-CN. Dans cette étude, cette liaison négative a été mesurée avec l'ensemble des caséines γ et K. Les données bibliographiques montrent que les laits pauvres en K-CN ont des micelles de grande taille (SCHMIDT, 1982 ; DAVIES et LAW, 1983 ; GRANDISON et al, 1985 c ; FORD et GRANDISON, 1986 ; SCHEER, 1988). Il est cependant possible que le pourcentage d' α S-CN intervienne directement sur la taille micellaire des laits : MAC MAHON et BROWN (1984) signalent en effet que l'enrichissement du lait en α S-CN provoque une augmentation du diamètre moyen des micelles.

La corrélation négative entre le pourcentage d' α S-CN et la teneur en phosphore est étonnante si on tient compte de la corrélation positive entre pourcentage d' α S-CN et taille micellaire. En effet, les laits à taille micellaire élevée contiennent plus de phosphate colloïdal que les laits à faible taille micellaire (SCHMIDT, 1982). Mais dans cette étude, seule la teneur en phosphore total a été mesurée, ce qui peut expliquer en partie la différence observée.

b) Pourcentage de β -CN

Outre la corrélation négative avec le pourcentage d' α S-CN, le pourcentage de β -CN est lié négativement au pourcentage de γ K-CN ($r = -0,24$) (figure III 6a). COSSIN (1988) n'a pas mis en évidence de liaison entre pourcentage de β -CN et pourcentage de K-CN mais LAURENT et al (sous presse) ont obtenu une corrélation négative ($r = -0,26$).

Figure III.6.b : Corrélations entre les pourcentages des différentes protéines et les critères de composition physicochimique et paramètres technologiques

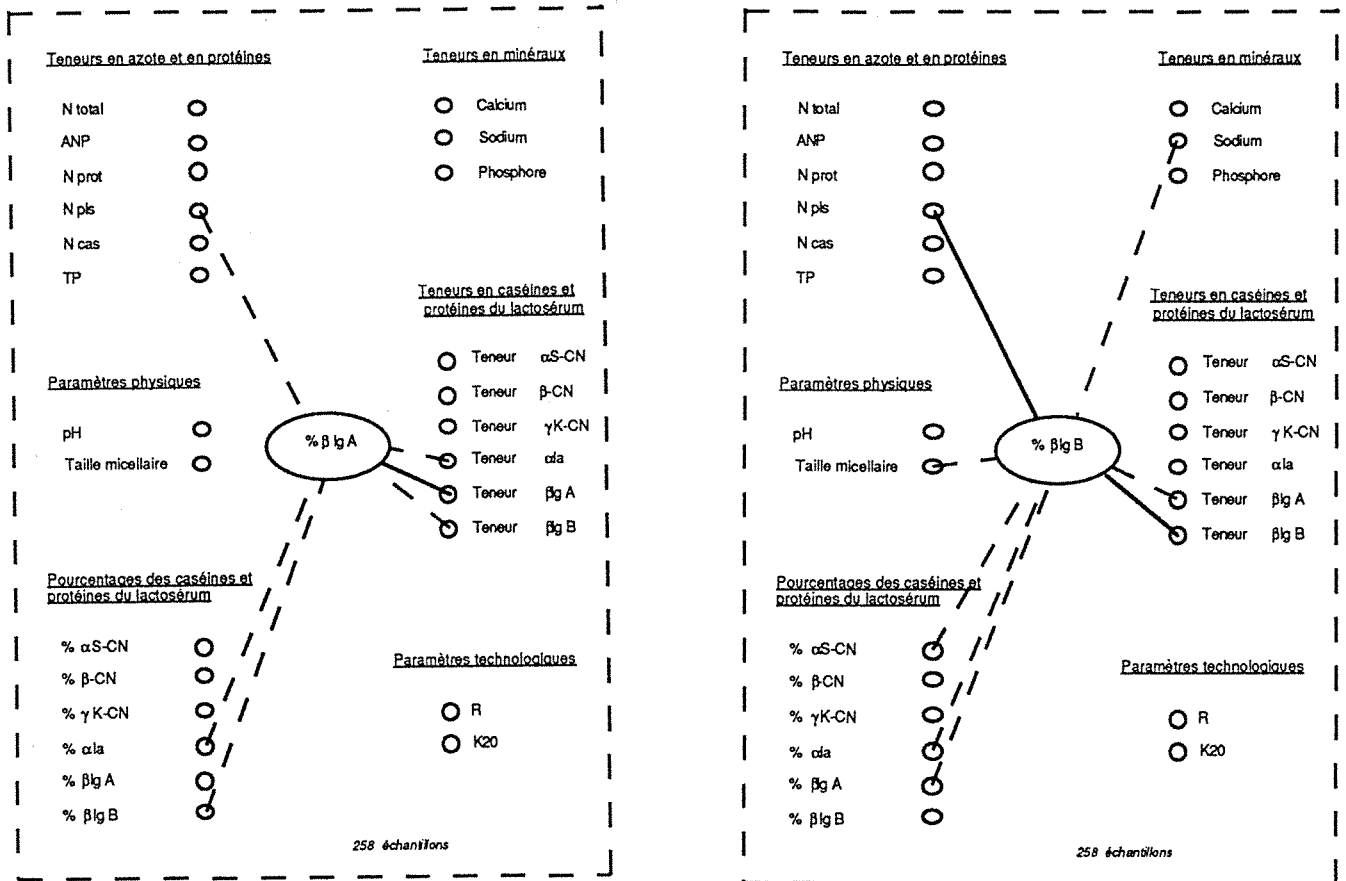
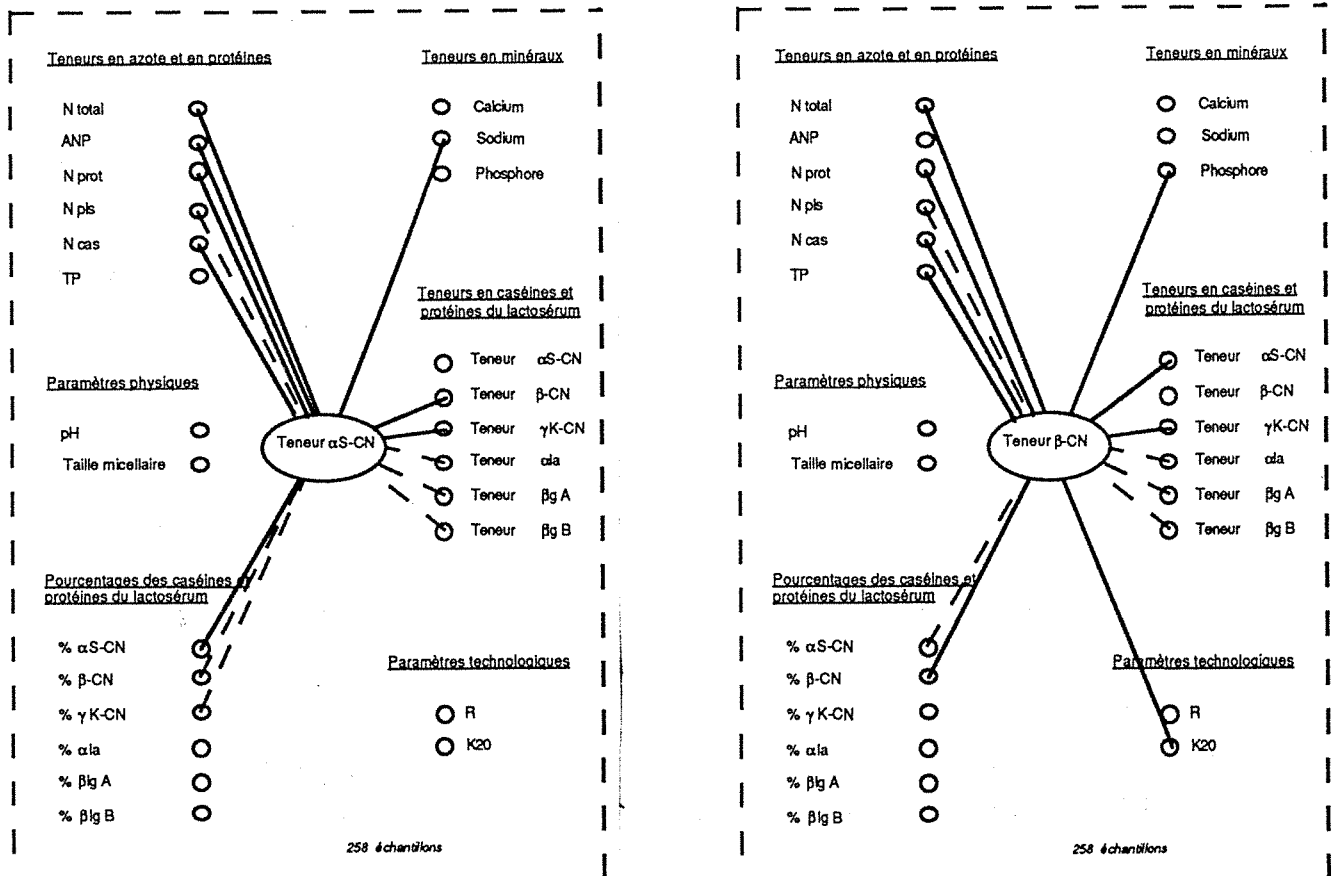


Figure III.7.a : Corrélations entre les teneurs des différentes protéines et les critères de composition physicochimique et paramètres technologiques



— corrélation positive
 - - - corrélation négative (significatives à 1%)

Les laits à forte proportion de β -CN présentent des teneurs en phosphore élevées.

c) Pourcentage de γ K-CN

Les laits à forte proportion de γ K-CN ont des teneurs en α 1a et β IgB élevées, ce qui correspond à la corrélation positive entre pourcentage de γ K-CN et teneur en azote des protéines du lactosérum (figure III 6a).

Le pourcentage de γ K-CN est corrélé négativement à la taille micellaire des laits ($r = -0,26$). Il semble que ce soit le pourcentage de K-CN qui intervienne puisqu'il est actuellement établi que les laits riches en K-CN ont des micelles de plus petite taille (SCHMIDT, 1982 ; DAVIES et LAW, 1983 ; GRANDISON et al, 1985 c ; FORD et GRANDISON, 1986 ; SCHEER, 1988).

d) Pourcentage d'alphalactalbumine

Le pourcentage d'alphalactalbumine est corrélé négativement au pourcentage de β IgA ($r = -0,56$) et au pourcentage de β IgB ($r = -0,22$) (figure III 6a).

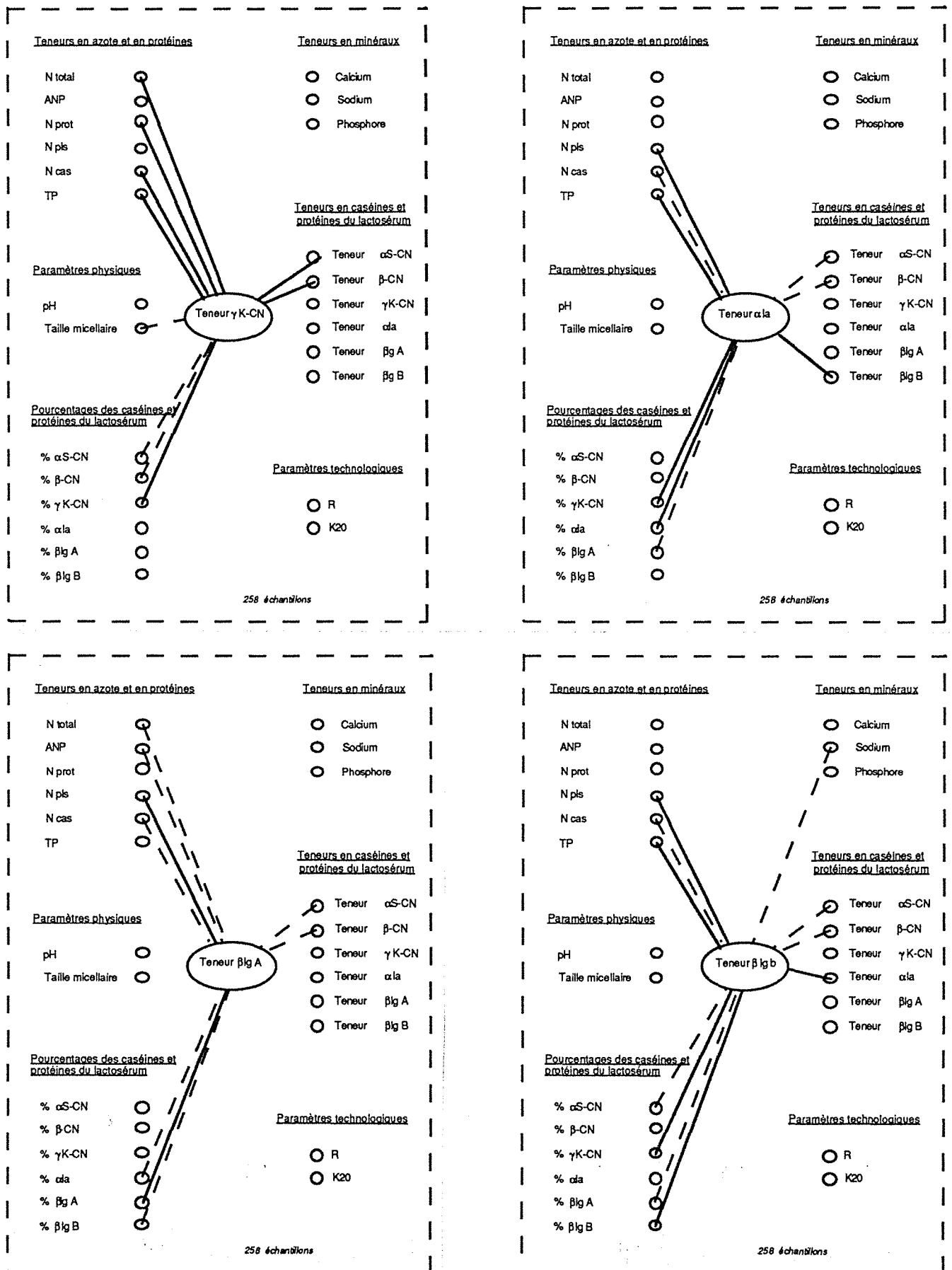
e) Pourcentage de betalactoglobuline

Hormis les relations entre pourcentages et quantités des différentes protéines du lactosérum, le pourcentage de β IgB est corrélé négativement au pourcentage d' α S-CN ($r = -0,17$), à la teneur en sodium ($r = -0,20$) et à la taille micellaire ($r = -0,17$) (figure III 6b). Cette dernière corrélation dépend sans doute de la corrélation positive établie entre pourcentage d' α S-CN et taille micellaire. Il est cependant intéressant de noter que TANAN (1990) enregistre également une corrélation négative entre pourcentage de β IgB et taille micellaire ($r = -0,50$) alors que dans son étude le pourcentage de β IgB n'est corrélé qu'au pourcentage de β IgA. Le variant B de la β Ig pourrait donc avoir un effet propre sur la taille micellaire.

II.4 - Teneurs des différentes caséines et protéines du lactosérum

Les teneurs des différentes caséines et protéines du lactosérum sont calculées à partir du pourcentage de la protéine correspondante et des teneurs en azote caséique ou en azote des protéines du lactosérum : le mode de calcul implique les corrélations entre teneurs en azote et teneurs des différentes protéines. Par contre les corrélations avec le TP ne dépendent pas du mode de calcul.

Figure III.7.b : Corrélations entre les teneurs des différentes protéines et les critères de composition physicochimique et paramètres technologiques



— corrélation positive
 - - - corrélation négative (significatives à 1%)

Nous ne reviendrons pas sur ces corrélations et seules celles établies avec les paramètres physiques, technologiques ou les teneurs en minéraux seront présentées.

a) Teneur en α S-CN

La teneur en α S-CN est corrélée positivement à la teneur en sodium du lait ($r = +0,17$) (figure III 7a).

b) Teneur en β -CN

La teneur en β -CN est corrélée positivement à la teneur en phosphore du lait ($r = +0,25$), corrélation correspondant à la liaison positive entre pourcentage de β -CN et teneur en phosphore (figure III 7a).

La teneur en β -CN est corrélée positivement au temps de coagulation ($r = +0,23$). Cette corrélation est surprenante car la plupart des auteurs n'ont pas observé de corrélation entre teneurs en protéines ou caséines et temps de coagulation (GRANDISON et al, 1984, 1985 b et c ; OKIGBO et al, 1985 a ; COSSIN, 1988 ; COULON et al, 1988 a ; VERTES et al, 1989 a). Seuls QUELEN et KERJEAN (1987) obtiennent une corrélation négative entre teneur en MAT ou teneur en caséines et temps de coagulation, STORRY et al (1983) une corrélation négative entre teneur en β -CN et temps de coagulation. A l'inverse, LENOIR et SCHNEID (1984) observent une tendance à l'augmentation du temps de coagulation lorsque la concentration en caséines s'accroît, notamment la concentration en K-CN.

c) Teneur en γ K-CN

La teneur en γ K-CN est corrélée négativement à la taille micellaire des laits ($r = -0,21$) (figure III 7b). Cette corrélation a déjà été établie avec le pourcentage de γ K-CN. L'effet serait dépendant de la K-CN.

d) Teneur en β lactoglobuline

La teneur en β lgB est corrélée négativement à la teneur en sodium ($r = -0,24$) (figure III 7b).

Figure III.8 : Corrélations entre les paramètres physiques et les critères de composition physicochimique et paramètres technologiques

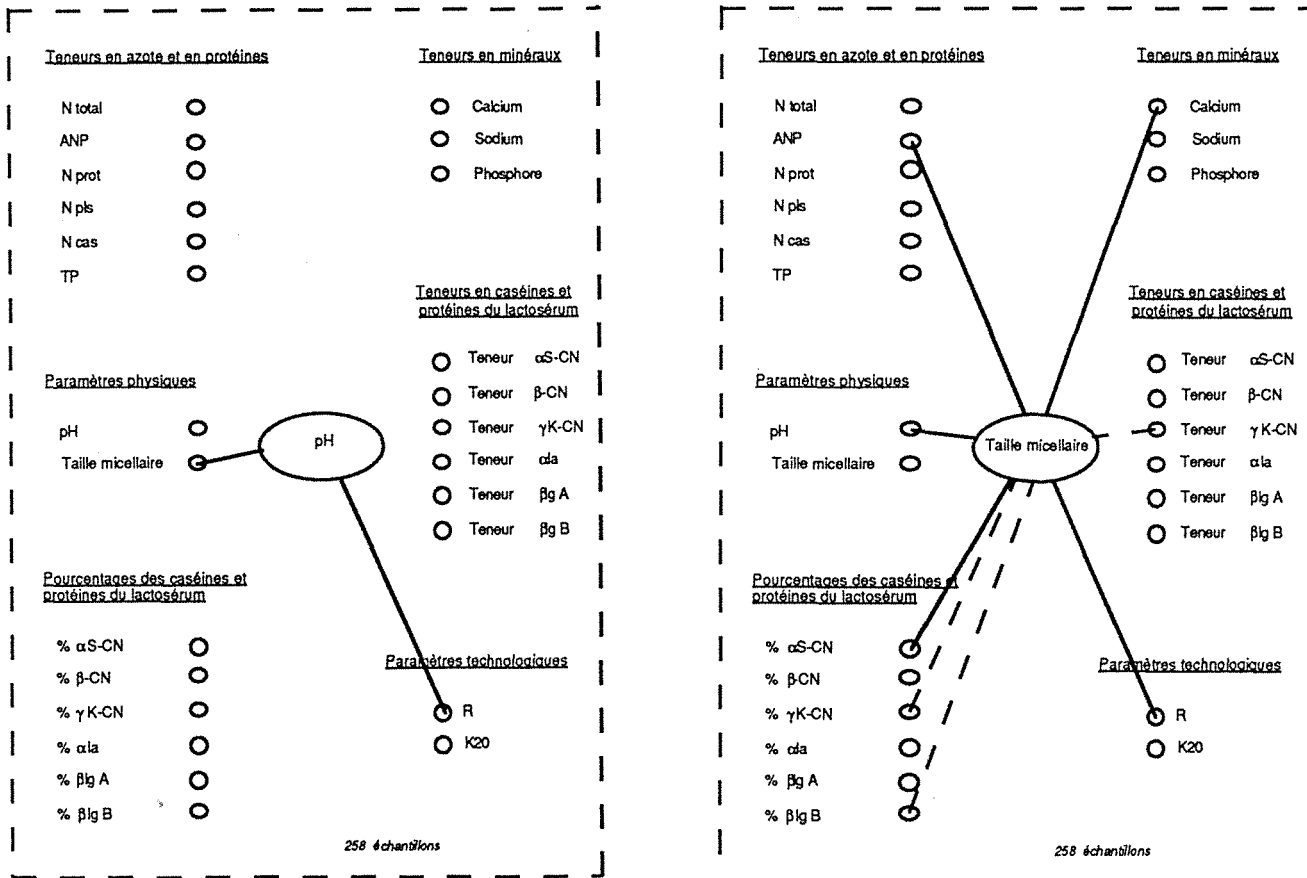
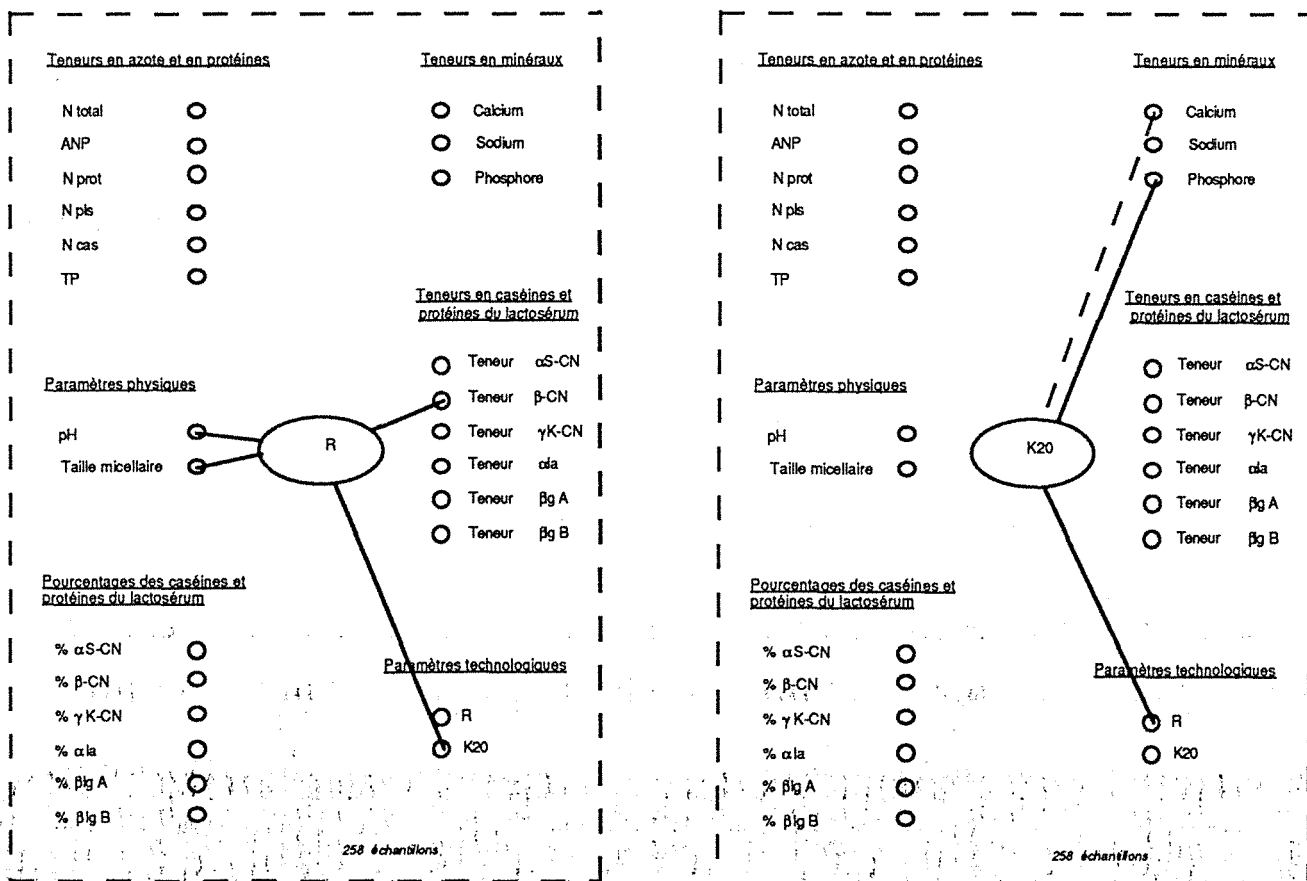


Figure III.9 : Corrélations entre les paramètres technologiques et les critères de composition physique



— corrélation positive
 - - - corrélation négative (significatives à 1%)

II.5 - Paramètres physiques

a) pH

Comme de nombreux auteurs (RAMET et WEBER, 1980 ; STORRY et FORD, 1982 b ; OKIGBO et al, 1985 a, b et c ; COSSIN, 1988 ; SCHEER, 1988 ; TANAN, 1990 et LAURENT et al, sous presse) nous observons une corrélation positive entre pH et temps de coagulation ($r = + 0,31$), et ce malgré la faible variabilité du pH (figure III 8).

Le pH est corrélé positivement à la taille micellaire ($r = + 0,19$). Lorsque le pH d'un lait augmente, l'équilibre de répartition des minéraux entre la phase micellaire et la phase soluble est modifié : les taux de calcium et de phosphate dans la micelle augmentent et entraînent un accroissement de la taille micellaire (BRULE et LENOIR, 1984).

b) Taille micellaire

Les corrélations avec les pourcentages d' α S-CN, γ K-CN et β IgB et la quantité de γ K-CN ont déjà été commentées.

La taille micellaire est corrélée positivement au temps de coagulation ($r = +0,28$) (figure III.8). FORD et GRANDISON (1986), SCHEER (1988), TANAN (1990) et LAURENT et al (sous presse) ont également montré cette relation.

La taille micellaire est corrélée positivement à la teneur en calcium ($r = +0,39$). Les données bibliographiques divergent quant à cette relation. TANAN (1990) et LAURENT et al (sous presse) établissent une corrélation positive entre taille et teneur en calcium total, COSSIN (1988) entre teneur en calcium colloïdal et taille micellaire. L'hypothèse est que la teneur en calcium colloïdal reflète mieux la teneur en phosphate de calcium colloïdal, qui intervient de fait dans la formation des micelles (SCHMIDT, 1982 ; MAC MAHON et BROWN, 1984). Par contre SCHEER (1988) a établi une corrélation négative.

II.6 - Paramètres technologiques

Ces corrélations sont établies sur 131 échantillons de laits de troupeau.

a) Temps de coagulation

Le temps de coagulation est corrélé positivement au pH et à la taille micellaire (cf ci-dessus), ainsi qu'au temps d'obtention de la fermeté standard ($r = +0,50$) (figure III.9).

L'absence de corrélation avec les teneurs en minéraux est à souligner alors qu'il est établi que la teneur en calcium agit sur le temps de coagulation.

b) Temps d'obtention de la fermeté standard

Le temps d'obtention de la fermeté standard est corrélé négativement à la teneur en calcium ($r = -0,25$). Ce résultat correspond à ceux établis par STORRY et al (1983), GRANDISON et al (1984), QUELEN et KERJEAN (1987), SCHEER (1988) et LAURENT et al (sous presse).

Le K_{20} est corrélé positivement à la teneur en sodium ($r = +0,25$), corrélation également mise en évidence par LAURENT et al (sous presse).

L'absence de liaison avec la teneur en protéines ou en caséines, alors que de nombreux auteurs ont observé leur influence positive sur la fermeté du gel (STORRY et al, 1983 ; TROUVE, 1987 ; COSSIN, 1988 ; VERTES et al, 1989 a ; LAURENT et al, sous presse), est à souligner.

II.7 - Conclusion

L'ensemble de ces corrélations, bien que significatives au seuil de 1 %, sont dans l'ensemble faibles (mis à part les corrélations découlant des méthodes de mesure et de calcul).

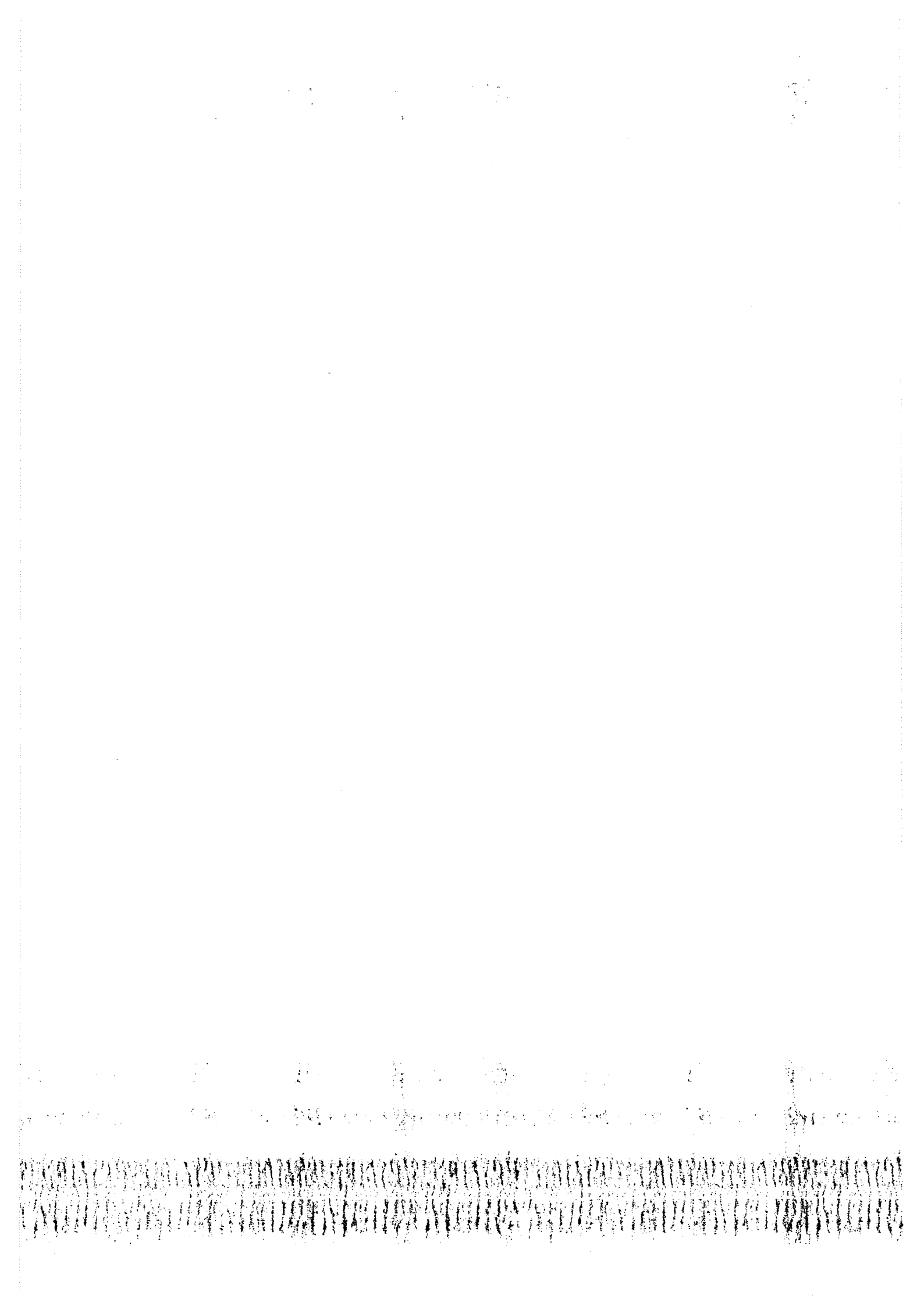
Certaines corrélations confortent des observations déjà effectuées, c'est le cas notamment des corrélations établies entre :

- taille micellaire et pourcentages d' α S-CN et de γ K-CN
- taille micellaire et teneur en calcium
- pH et temps de coagulation
- K_{20} et R
- K_{20} et teneur en calcium.

Les corrélations entre pourcentage de β IgB et teneur en azote soluble et entre teneur en β -CN et temps de coagulation vont à l'encontre des références établies antérieurement.

Quant aux corrélations entre TP et pourcentages en α S-CN et γ K-CN, elles n'avaient pas été rapportées jusqu'ici.

Les résultats acquis dans ce chapitre permettent donc de confirmer que certaines caractéristiques physicochimiques et technologiques des laits sont liées. La définition de



l'aptitude fromagère des laits à partir de quelques critères de composition est donc envisageable. Dans l'immédiat, nous pouvons retenir, d'une part, que les laits-acides et à taille micellaire faible coagulent rapidement ; d'autre part, que les laits atteignant rapidement la fermeté standard présentent des teneurs en calcium élevées, en sodium faibles et qu'ils coagulent rapidement.

Les corrélations établies dans ce travail ont été établies sur laits de mélange. Elles confortent des résultats antérieurs obtenus en laits individuels. Les observations établies sur laits individuels seraient donc utilisables, au moins partiellement, pour des laits de mélange.

Par ailleurs, les corrélations dégagées entre nature des protéines et taux protéique devraient permettre de mieux caractériser la composition protéique de laits à différents TP. Cette approche sera développée dans le chapitre suivant.

III - Influence du TP et de ses variations sur la nature des protéines du lait

III.1 - Influence du TP sur la nature des protéines du lait

III.1.1 - Résultats

247 laits de mélange à TP compris entre 27,5 et 32,5 g/kg sont répartis en cinq classes, d'écart moyen 1 g/kg. Les valeurs moyennes de taux protéique, taux de caséines, pourcentages et teneurs des différentes caséines ou protéines du lactosérum calculées par classe sont présentées à l'annexe 4.

Le modèle d'analyse de variance utilisé pour comparer la nature des protéines par classe de TP est le suivant :

Source de variation	Degrés de liberté	Observation
Classe de TP	4	5 classes
Année	1	2 années
Classe x Année	4	Interaction
Erreur résiduelle	237	

Tableau III.11 - Valeurs moyennes des constituants protéiques par classe de TP, ajustées des facteurs année et année * classe de TP

Variable	Classe de TP	27,5 à 28,5 g/kg	28,5 à 29,5 g/kg	29,5 à 30,5 g/kg	30,5 à 31,5 g/kg	31,5 à 32,5 g/kg	Seuil de signification
n		46	71	73	34	23	
	dont : Année 1	28	42	38	17	4	
	Année 2	18	29	35	17	19	
Taux protéique moyen (g/kg)		28,19	29,08	30,00	30,98	32,03	NS
% Caséines		84,93	84,78	85,25	85,23	85,67	NS
% Protéines du lactosérum		15,06	15,22	14,74	14,77	14,32	NS
Pourcentages des différentes caséines							
% αS-CN		48,93 (A) (B)	49,06 (A)	48,14 (B)	48,17 (A) (B)	47,27 (B)	0,10
% β-CN		34,03 (A) (B)	33,72 (A) (B)	33,68 (A) (B)	33,11 (A)	34,93 (B)	NS
% γK-CN		17,03 (A)	17,22 (A)	18,17 (B)	18,71 (B)	17,80 (A) (B)	0,01
Pourcentages des différentes PLS							
% α la		31,53 (A) (B)	30,00 (A)	31,53 (A)(B)	33,10 (B) (C)	35,55 (C)	0,05
% β Ig A		40,77 (A) (B)	42,60 (A)	41,13 (A) (B)	38,48 (B) (C)	33,06 (C)	0,01
% β Ig B		27,70	27,39	27,33	28,42	31,39	
Pourcentages des différentes protéines dans les protéines totales							
% αS-CN		41,61	41,62	41,05	41,07	40,52	NS
% β-CN		28,91 (A) (B)	28,58 (A) (B)	28,72 (A) (B)	28,22 (A)	29,92 (B)	NS
% γK-CN		14,41 (A)	14,58 (A)	15,49 (B)	15,95 (B)	15,24 (A) (B)	0,01
% α la		4,75	4,57	4,67	4,90	5,05	NS
% β Ig A		6,05 (A) (B)	6,46 (A)	6,02 (A) (B)	5,60 (B) (C)	4,63 (C)	0,05
% β Ig B		4,25	4,19	4,04	4,25	4,64	NS

* Les moyennes avec la même lettre ne sont pas statistiquement différentes au seuil de 5 % (test sur les moyennes ajustées par classes comparées 2 à 2)

Les variables analysées sont les pourcentages de caséines totales, de protéines du lactosérum, des différentes caséines dans les caséines totales et protéines du lactosérum dans les PLS totales et leurs teneurs rapportées au taux protéique, ce qui équivaut aux pourcentages des différentes protéines par rapport aux protéines totales.

L'analyse est effectuée sur l'ensemble des laits, ce qui permet d'approcher la variabilité des laits collectés par une laiterie.

L'effet année influence significativement les résultats de composition protéique : les valeurs moyennes des différents constituants protéiques sont donc calculées par classe, après ajustement de l'effet année et de l'interaction année x classe de TP. Elles sont présentées au tableau III.11.

a) Classes de TP et proportions en caséines

La part de l'ensemble des caséines dans les protéines totales ne varie pas significativement avec la classe de TP.

Les variations du pourcentage de caséines γ K sont significatives ($p < 0,01$). Le pourcentage de γ K-CN augmente avec la classe de TP entre 27,5 et 31,5 g/kg (+ 10 %) puis diminue, l'écart n'atteignant plus que 5 % entre les laits à TP élevé (31,5 à 32,5 g/kg) et les laits à TP faible (27,5 à 28,5 g/kg). La classe des laits à TP élevé étant constituée essentiellement de laits de deuxième année (19 sur 23), le poids des laits de première année est augmenté artificiellement par le calcul des moyennes ajustées : ces laits présentent un pourcentage de γ K-CN inférieur de 0,8 point aux laits de deuxième année. Ceci explique une partie de la diminution observée pour les laits à 32,0 g/kg de TP.

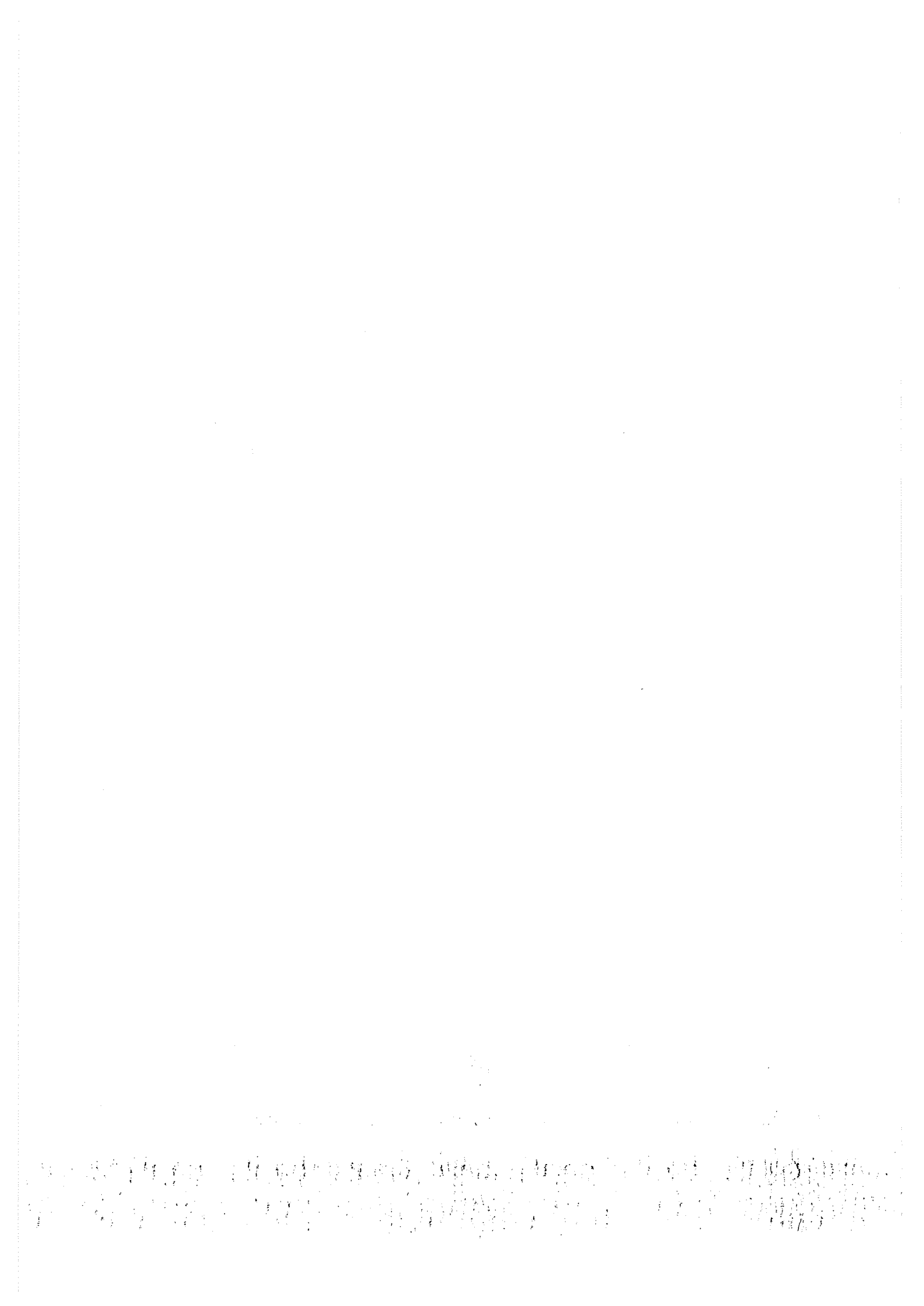
Le pourcentage de caséines α S tend à diminuer avec la classe de TP (significatif à 10 %).

b) Classes de TP et proportions en PLS

Les pourcentages de β Ig A et d' α la varient significativement avec la classe de TP ($p < 0,01$ et $p < 0,05$ respectivement).

Le pourcentage de β Ig A diminue avec la classe de TP : -6 % quand le TP passe de 28,2 g/kg à 31 g/kg ; -19 % pour l'écart maximal. L'effet année est important pour la classe de TP la plus élevée, avec un pourcentage de β Ig A de 28,3 % en année 1 contre 37,7 % en deuxième année.

Entre les laits à TP faible (28,2 g/kg) et les laits à 31 ou 32 g/kg, le pourcentage d' α la augmente respectivement de 5 % ou 13 %.



III.1.2 - Discussion

Ces résultats peuvent être biaisés par un effet troupeau. La fréquence des laits provenant de chacun des élevages pour chaque classe de TP a donc été calculée (annexe 5). Sur les 32 exploitations constituant la base de données :

- 25 ont eu au moins un lait à TP compris entre 27,5 et 28,5 g/kg
- 30 au moins un lait à TP compris entre 29,5 et 30,5 g/kg
- 15 au moins un lait à TP compris entre 30,5 et 31,5 g/kg
- 14 au moins un lait à TP compris entre 31,5 et 32,5 g/kg

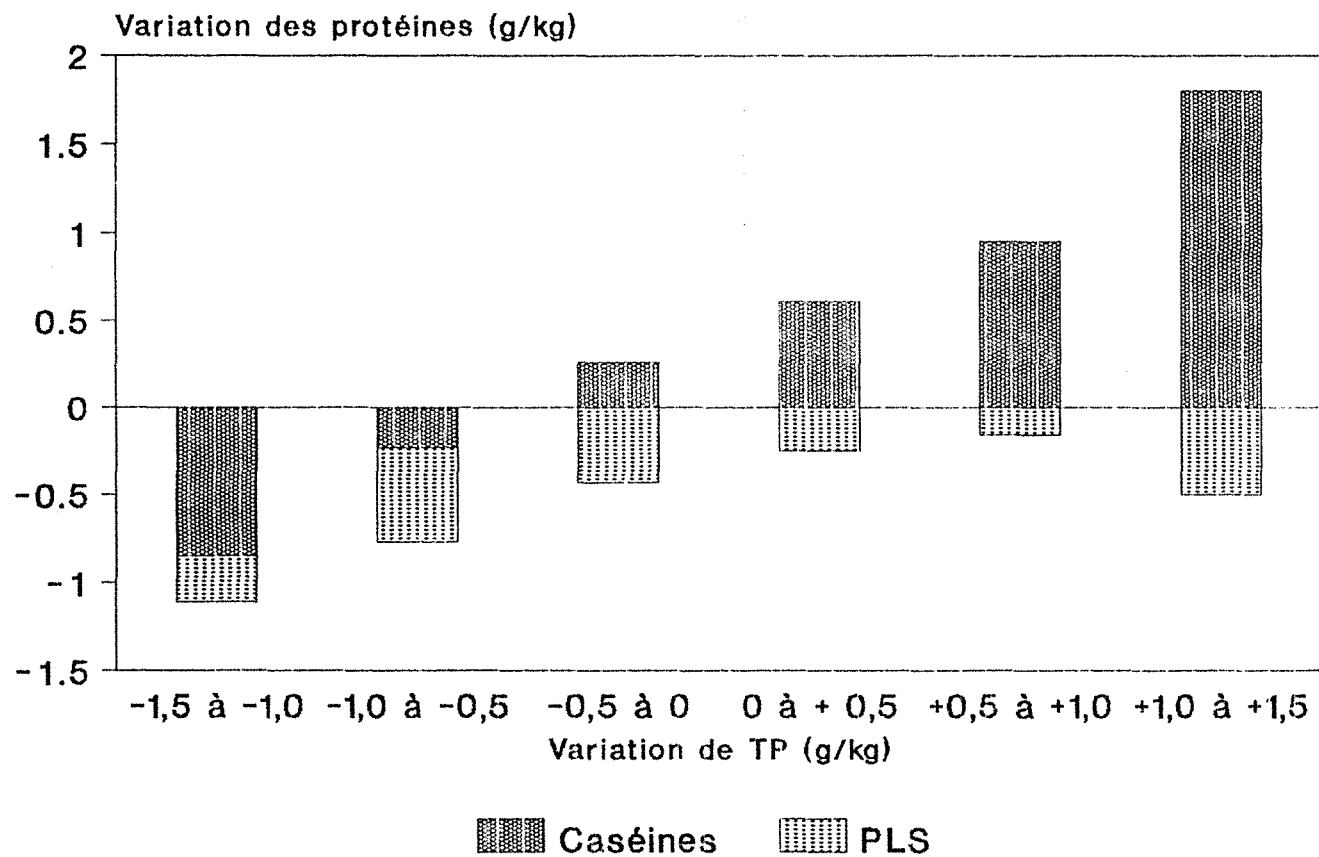
Il n'y a pas de surreprésentation forte d'un ou de plusieurs élevages dans une des classes de TP. Les différences de taux protéique moyen entre troupeaux ont sans doute peu interféré.

Dans le même esprit, nous avons cherché à caractériser un éventuel biais lié à la période étudiée. La majeure partie des laits à faible TP sont produits pendant les deux périodes hivernales des essais préliminaires et pendant la période initiale des essais "maîtrise de l'apport énergétique" (annexe 6). Par contre, la majorité des laits à fort TP correspond aux données mesurées en phases d'ajustement des rations aux recommandations et d'augmentation du concentré lors des essais "maîtrise de l'apports énergétique" : il y a donc un déséquilibre entre périodes. Cet effet période correspond à la fois à un effet saison (notamment lors des essais préliminaires) et à un effet apports énergétiques (surtout lors des essais "maîtrise de l'apport énergétique"). Il semble donc difficile d'expliquer cette variabilité de la nature des protéines du lait par un facteur de production bien identifié.

Peu d'auteurs se sont intéressés aux liaisons existant entre les teneurs en protéines ou en caséines et les proportions des différentes protéines : GRANDISON et al (1985 a et b) et STORRY et al (1983) n'ont rapporté que des corrélations entre taux de caséines du lait et teneur des différentes protéines. Dans les essais de VERTES et al (1989 a), un écart de TP de 2,5 g/kg (effet race) est accompagné par un pourcentage de K-CN dans les caséines totales supérieur de 3,3 points. Pour un écart de TP de 2,3 g/kg (effet niveau d'énergie), le pourcentage de K-CN est supérieur de 0,9 point, les différences étant significatives au seuil de 10 %. Les résultats de LAURENT et al (1989 b) montrent que, quand le TP a augmenté de 0,7 g/kg (effet apport énergétique) ($p < 0,01$), le pourcentage d' α S-CN a diminué d'1,9 point ($p < 0,01$) et le pourcentage de K-CN augmenté d'1 point (NS).

Figure III.10. Nature des protéines du lait en fonction des variations de TP

Répartition des caséines et PLS dans les variations de TP



Les pourcentages des différentes caséines sont donc sujet à variation quand le TP varie sous l'effet du niveau d'alimentation. Ces résultats confortent les observations établies ici, quant aux variations des pourcentages d' α S-CN et de γ K-CN pour des VL de même race.

III.2 - Influence des variations du TP sur la nature des protéines du lait

Nous abordons dans ce paragraphe la caractérisation des écarts de taux protéique. Cet aspect cinétique de l'étude des variations du TP a pour objectif la description en terme de composition (part des caséines et des PLS) des gains et pertes de TP.

Les gains ou pertes de TP intratroupeaux calculés entre 2 prélèvements successifs sont répartis en 6 classes, d'écart moyen 0,5 g/kg. Les variations moyennes du taux de caséines, du taux de protéines du lactosérum et des teneurs des différentes protéines calculées par classe de variation de TP sont présentées à l'annexe 7.

Les variations du taux de caséines et du taux de PLS pour les 6 classes de variation de TP sont représentées à la figure III.10.

La composition des gains de TP est caractérisée par la diminution de la part des PLS, avec en corollaire une augmentation de celle des caséines. Dans ce cas, pour toutes les classes de variation positive, l'augmentation de la teneur en caséines est plus rapide que l'élévation du TP (122 à 169 %).

L'étude de la composition des pertes de TP montre que la réduction affecte plus les PLS que les caséines : pour les diminutions de TP supérieures à -0,5 g/kg, le taux de caséines diminue moins rapidement que le taux protéique (30 à 76 % de la variation de TP). Pour la classe correspondant à des écarts compris entre 0 et -0,5 g/kg de TP, le taux de caséines peut même augmenter, sa variation représentant en moyenne 156 % de la variation du TP.

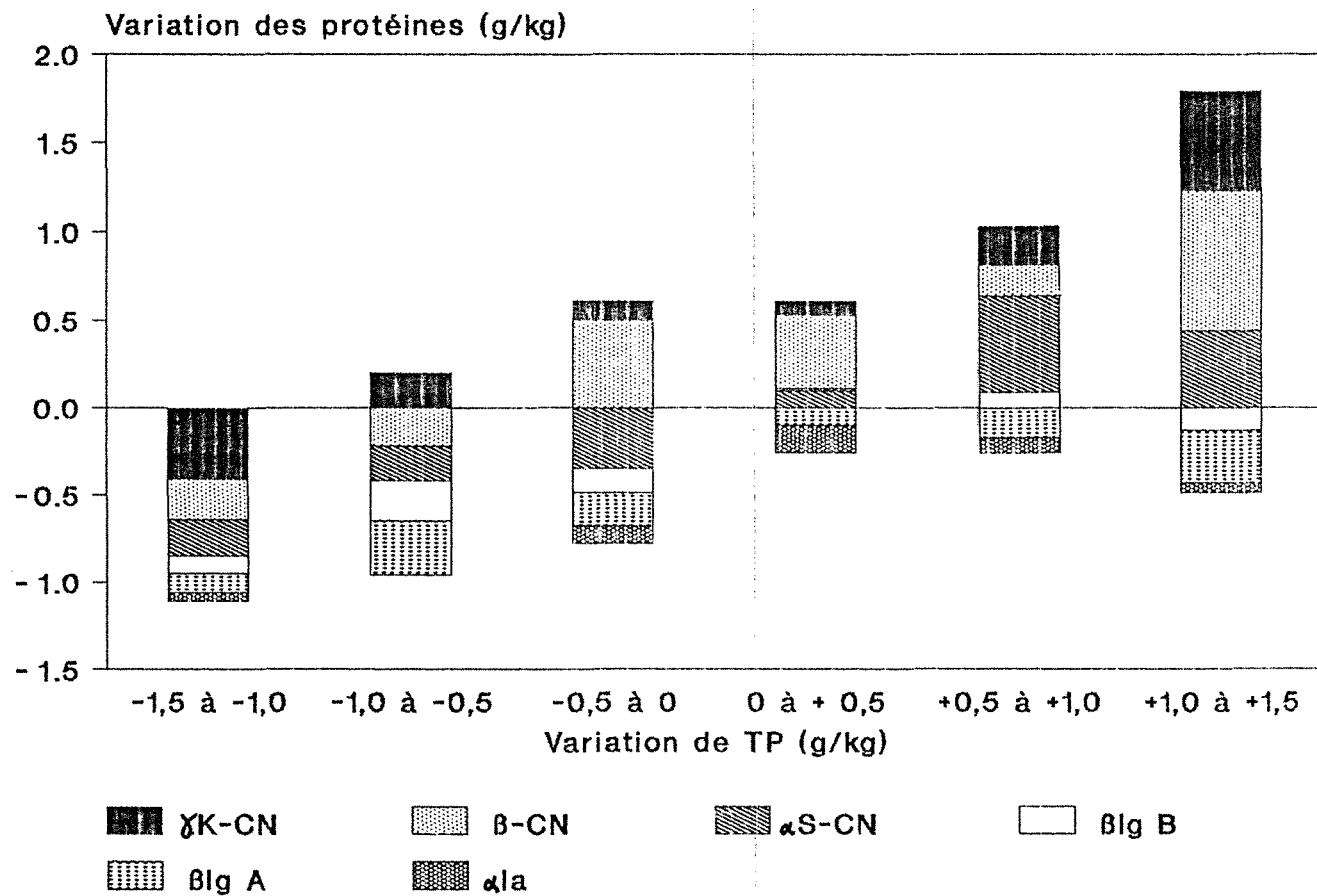
Tout écart du TP du lait de mélange d'un troupeau serait donc accompagné d'une augmentation relative du pourcentage de caséines.

Les variations de TP sont induites par des modifications simultanées d'apport énergétique (changement de la ration de base et/ou du niveau d'apport de concentré), du stade de lactation ou encore de la saison, hypothéquant ainsi toute possibilité de préciser l'influence de chacun de ces facteurs sur les variations de TP.

La participation de chacune des caséines et protéines du lactosérum à la composition des gains ou pertes de TP est représentée à la figure III.11. A l'intérieur de la

Figure III.11. Nature des protéines du lait
en fonction des variations de TP

Répartition des différentes caséines et
PLS dans les variations de TP



fraction caséique, la part prise par chaque type de caséine est variable, de même pour les protéines du lactosérum.

Les mesures des pourcentages de caséines et de PLS étant moins précises que les mesures des teneurs en protéines, les variations de TP enregistrées ici sont sans doute trop faibles pour faire apparaître les variations des différentes caséines et PLS correspondantes.

Pour chaque classe de variation du TP, la fréquence de représentation des périodes est équilibrée (annexe 8). Par ailleurs, les pertes de TP concernent autant des laits à TP faible que des laits à TP élevé. Il en est de même pour les gains de TP (annexe 9). L'influence de la période de mesure ou du TP initial sur la répartition des caséines et des PLS dans les variations de TP est sans doute négligeable.

III.3 - Conclusion

Pour des laits de mélange à différents taux protéiques, provenant de plusieurs troupeaux, la part prise par les caséines et les protéines du lactosérum dans les protéines totales ne varie pas. Par contre les pourcentages de γ K-CN et d' α S-CN, d' α 1a et de β IgA varient significativement avec la classe de TP.

L'étude des variations intratroupeaux du taux protéique de laits de mélange montre que la part prise par les caséines et les protéines du lactosérum varie en fonction de la classe de gain ou de perte du TP. Toute variation du taux protéique du lait d'un troupeau serait accompagnée d'une augmentation relative du pourcentage de caséines.

Ces résultats mériteraient d'être complétés par des études complémentaires permettant de prendre en compte l'influence des différents facteurs zootechniques dans les variations de TP et donc de préciser leur part dans les variations de la répartition caséines-protéines du lactosérum.

**Tableau III.12 - Valeurs moyennes des caractéristiques physicochimiques
et technologiques des laits par niveau de TP**

	TP faibles n = 4	TP demi-faibles n = 3	TP demi-forts n = 4	TP forts n = 4	Ensemble des laits n = 15
Extrait sec (%) lait standardisé MG	11,23 (0,21)	11,06 (0,04)	11,18 (0,10)	11,34 (0,15)	11,21 (0,16)
TB initial (g/l) **	38,05 (0,73)	37,73 (1,05)	39,42 (1,63)	40,72 (0,92)	39,07 (1,59)
TB après écrémage partiel (g/l)	26,95 (0,37)	26,23 (0,49)	26,47 (1,35)	26,60 (1,81)	26,59 (1,11)
Teneur en protéines *** (g/l)	29,44 (0,57)	30,07 (0,83)	30,84 (0,33)	32,21 (0,47)	30,68 (1,20)
Teneur en caséines *** (g/l)	24,99 (0,32)	25,35 (0,91)	25,71 (0,65)	27,11 (0,11)	25,82 (0,98)
Teneur en MAC *** (g/l)	23,75 (0,57)	24,01 (0,80)	24,56 (0,23)	25,87 (0,24)	24,58 (0,96)
% Cas dans les protéines	84,9 (0,9)	84,3 (0,8)	83,4 (2,3)	84,2 (1,1)	84,2 (1,4)
% Caséines					
% α S-CN	45,2 (1,2)	45,2 (1,6)	44,4 (1,0)	44,4 (1,5)	44,8 (1,3)
% β-CN	37,4 (1,1)	36,7 (3,0)	38,0 (2,2)	36,9 (1,8)	37,0 (1,9)
% γK-CN	17,4 (1,4)	18,0 (2,5)	17,6 (1,9)	18,7 (2,4)	18,2 (1,7)
% Protéines du lactosérum					
% α la	25,5 (1,0)	20,9 (3,9)	22,0 (0,9)	22,9 (1,2)	22,6 (2,5)
% β Ig A ***	40,4 (1,5)	44,6 (4,7)	50,7 (0,4)	45,8 (1,4)	45,2 (4,6)
% β Ig B	34,1 (0,7)	34,4 (7,4)	27,2 (0,6)	31,2 (0,1)	32,2 (4,3)
Minéraux (g/l)					
Calcium	1,13 (0,13)	1,08 (0,07)	1,14 (0,11)	1,17 (0,09)	1,13 (0,10)
Sodium	0,43 (0,01)	0,43 (0,02)	0,43 (0,01)	0,45 (0,03)	0,44 (0,02)
Magnésium	0,12 (0,02)	0,13 (0,04)	0,13 (0,03)	0,15 (0,03)	0,13 (0,03)
Phosphore	0,93 (0,07)	0,90 (0,05)	1,01 (0,12)	0,93 (0,02)	0,94 (0,08)
pH	6,70 (0,11)	6,74 (0,08)	6,68 (0,13)	6,68 (0,09)	6,70 (0,10)
Taille micellaire (nm)	193 (6)	189 (5)	197 (4)	192 (3)	193 (5)
R (min)	31,2 (6,5)	28,7 (8,2)	28,4 (6,4)	27,5 (5,8)	29,0 (6,1)
K20 (min)	49 (15)	45 (17)	35 (13)	31 (11)	40 (15)

Différence significative à ** 5 % *** 10 %

TROISIEME PARTIE

INFLUENCE DES TENEURS EN PROTEINES ET DE LA SAISON SUR LA TRANSFORMATION FROMAGERE EN PATE MOLLE

I - Influence du niveau du TP sur la transformation fromagère

I.1 - Caractéristiques des laits transformés

Chaque lait mis en transformation est constitué par le mélange des laits de 3 troupeaux.

Après écrémage partiel, le TB des laits mis en fabrication varie entre 24,5 et 28,8 g/l mais le TB moyen n'est pas statistiquement différent entre les niveaux de TP (tableau III.12).

La teneur en protéines de ces laits ($N_{prot} \times 6,38$) varie entre 28,6 et 32,8 g/l, la teneur en caséines ($N_{cas} \times 6,38$) entre 24,3 et 27,2 g/l et la teneur en matières azotées coagulables ($N_{MAC} \times 6,38$) entre 22,9 et 26,0 g/l. Ces teneurs varient significativement avec le niveau de TP ($p < 0,01$) (tableau III.12).

Le pourcentage de caséines dans les protéines totales, les pourcentages des différentes caséines (α_S , β et γ_K), d' α_{1a} et de $\beta_{lg} B$ ne varient pas significativement avec le niveau de TP, seul le pourcentage de $\beta_{lg} A$ a varié ($p < 0,01$).

Les teneurs en minéraux, le pH et la taille micellaire des laits ne sont pas significativement influencés par le niveau de TP.

Le temps de coagulation et surtout le temps d'obtention de la fermeté standard ont tendance à décroître avec l'augmentation du TP mais les différences ne sont pas significatives, la variabilité de mesure pour un même niveau de TP étant importante.

I.2 - Caractéristiques des transformations et des fromages fabriqués

Les laits à TP élevé ont une cinétique d'égouttage plus lente (figure III.12), ce qui aboutit à une quantité de lactosérum égoutté à 24 h plus faible ($p < 0,05$).

La teneur en azote du lactosérum augmente significativement avec le niveau de TP ($p < 0,01$) mais sa teneur en M.S. ne varie pas significativement avec le niveau de TP (tableau III.13).



Figure III.12 : Cinétique d'égouttage des caillés

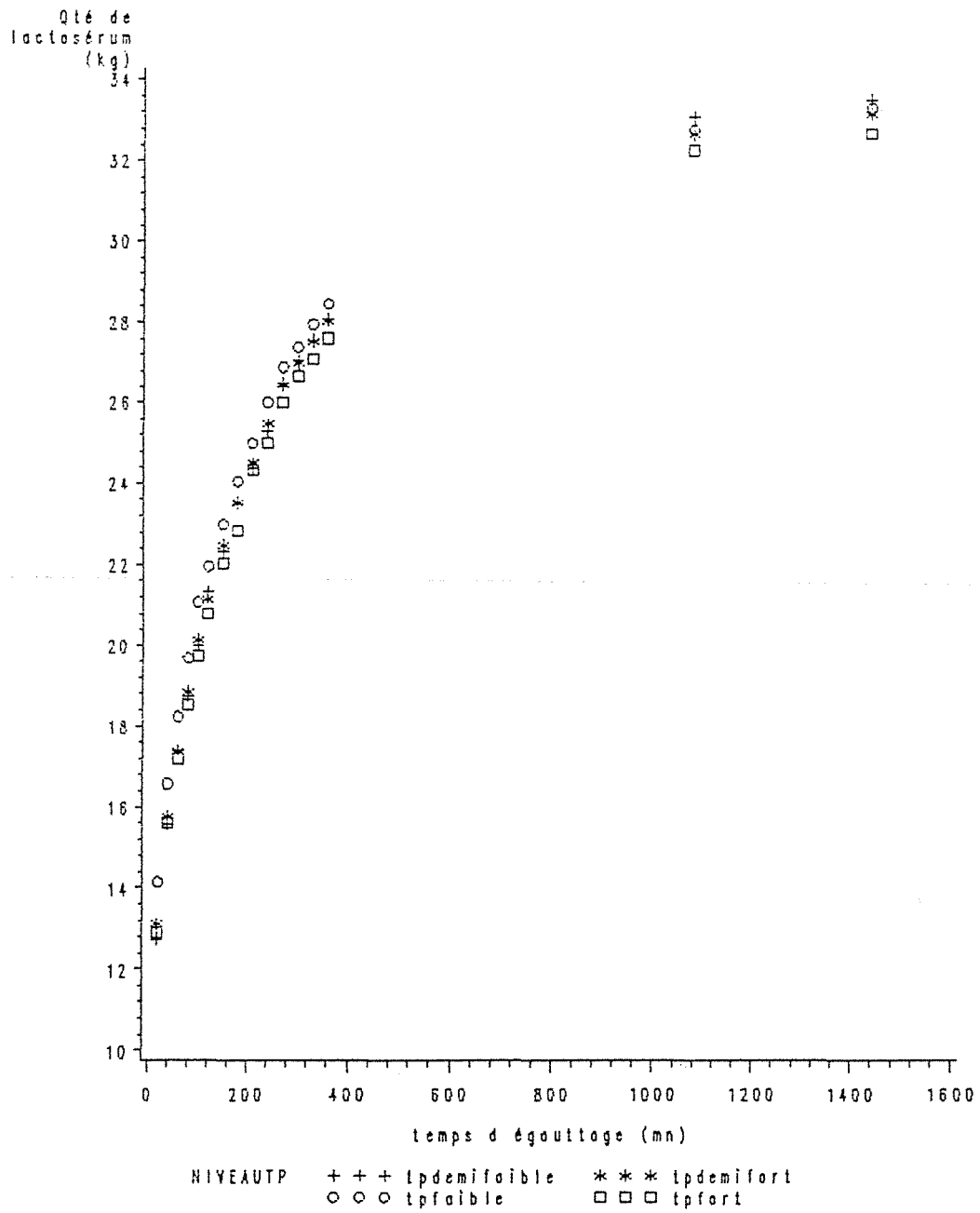


Tableau III.13 - Caractéristiques des transformations et des fromages fabriqués par niveau de TP

	TP faibles n = 4	TP demi-faibles n = 3	TP demi-forts n = 4	TP forts n = 4	Ensemble des laits n = 15
Quantité lactosérum 24 H ** (kg/100 kg de lait)	83,32 (0,14)	83,73 (0,51)	82,89 (0,71)	82,08 (0,66)	82,96 (0,79)
Teneur en N lactosérum (gN/l)***	1,39 (0,04)	1,45 (0,01)	1,51 (0,04)	1,53 (0,04)	1,47 (0,07)
Extrait sec lactosérum (%)	6,39 (0,13)	6,52 (0,04)	6,55 (0,04)	6,58 (0,11)	6,51 (0,11)
Rendement frais J+1 (kg/100 kg)**	15,11 (0,41)	14,88 (0,50)	15,36 (0,43)	15,95 (0,38)	15,36 (0,55)
Extrait sec J+1 (%)	34,6 (0,4)	35,6 (0,4)	35,6 (1,9)	36,1 (1,3)	35,5 (1,2)
Rendement sec J+1 (kg/100 kg)***	5,23 (0,12)	5,30 (0,13)	5,46 (0,21)	5,76 (0,14)	5,45 (0,25)
Rendement frais J+3 (kg/100 kg)**	14,59 (0,31)	14,48 (0,49)	14,92 (0,38)	15,44 (0,37)	14,88 (0,51)
Extrait sec J+3 (%)	36,9 (0,7)	38,1 (0,8)	36,5 (0,7)	37,5 (1,5)	37,2 (1,1)
Rendement sec J+3 (kg/100 kg)*	5,39 (0,11)	5,52 (0,08)	5,44 (0,17)	5,80 (0,37)	5,54 (0,26)
Rendement frais J+10 (kg/100 kg)**	13,66 (0,26)	13,49 (0,43)	13,91 (0,36)	14,37 (0,36)	13,88 (0,46)
Extrait sec J+10	39,3 (1,6)	39,8 (1,1)	39,4 (0,9)	39,1 (0,4)	39,4 (1,0)
Rendement sec J+10 (kg/100 kg)	5,37 (0,21)	5,37 (0,15)	5,48 (0,11)	5,61 (0,13)	5,46 (0,17)
Composition des fromages :					
Teneur en N total (mgN/gMS)	67,9 (2,0)	66,9 (3,1)	69,3 (2,2)	70,3 (2,8)	68,7 (2,6)
Gras sur sec (%)	45,6 (1,9)	44,7 (2,2)	45,4 (1,3)	43,6 (2,2)	44,8 (1,9)

Différence significative à * 10 % ** 5 % *** 1 %

Les rendements frais mesurés à J+1, J+3 ou J+10 varient significativement avec le niveau de TP ($p < 0,05$) sans qu'il y ait augmentation régulière : les laits correspondant au niveau de TP demi faible présentent en moyenne un rendement fromager plus faible que les laits à niveau de TP faible (tableau III.13)

Les teneurs en MS des fromages ne varient pas significativement avec le niveau de TP.

Le rendement fromager sec mesuré à J+1 augmente significativement avec le niveau de TP ($p < 0,01$). Les différences de rendement sec à J+3 sont significatives à 10 % alors qu'à J+10 elles ne sont pas statistiquement différentes.

Les teneurs en azote total et en matière grasse des fromages, rapportées à la matière sèche, ne varient pas significativement avec le niveau de TP.

I.3 - Explication du rendement fromager à partir des teneurs en protéines et du taux butyreux

I.3.1 - Rendement fromager J+1

Rendement frais :

La teneur en protéines ou la teneur en matières azotées coagulables par la présure (MAC) explique respectivement 67,9 ou 68,3 % des variations du rendement. La prédiction est améliorée de 9 à 12 % avec la prise en compte du TB après standardisation (tableau III.14).

La teneur en caséines n'explique que 41 % des variations du rendement, le cumul des variables taux de caséines et TB expliquant 60 % de la variabilité. Parmi les différentes caséines du lait, seule la teneur en β -CN est significativement liée au rendement frais ($p < 0,05$), le TB n'intervenant alors plus significativement.

Rendement sec :

La teneur en protéines explique 71 % des variations du rendement sec à J+1, la teneur en MAC 67 % et la teneur en caséines 82 % (tableau III.14). La teneur en β -CN explique 43 % des variations du rendement, la prise en compte de la teneur en α S-CN améliore la prédiction de 26 %. Le modèle utilisant les teneurs (g/l) des trois caséines explique la même part de variation que la teneur en caséines totales.

Après prise en compte de la teneur en protéines, le TB n'est pas significativement explicatif des variations de rendement.

**Tableau III.14 - Equations de régression du rendement fromager
établies à partir des teneurs en protéines
et du taux butyreux des laits**

(n = 15)

Variable expliquée	Variables explicatives au seuil de 5 %	Equation de régression	Coefficient de détermination r ² (%)	Ecart type résiduel
Rend _t frais J + 1 (kg/100 kg lait)	Ten. prot. - TB	Rdt frais J+1 = 0,37 + 0,36 TP + 0,15 TB	76,5	0,29
	MAC - TB	Rdt frais J+1 = - 0,60 + 0,46 MAC + 0,18 TB	80,6	0,26
	T. Cas. - TB	Rdt frais J+1 = 0,18 + 0,37 T Cas + 0,21 TB	59,7	0,38
	β-CN	Rdt frais J+1 = 8,59 + 0,007 β-CN	63,3	0,35
Rend _t sec J + 1 (kg. MS/100kg lait)	Ten. prot.	Rdt sec J+1 = - 0,07 + 0,18 TP	71,5	0,14
	MAC	Rdt sec J+1 = 0,10 + 0,22 MAC	67,4	0,15
	T. Cas.	Rdt sec J+1 = - 0,62 + 0,23 T Cas	81,7	0,11
	β-CN-αS-CN-αK-CN	Rdt sec J+1 = - 0,85 + 0,0026 (β-CN+αS-CN) + 0,0019 γ K-CN	83,1	0,12
Rend _t frais J + 3 (kg/100kg lait)	Ten. prot. - TB	Rdt frais J+3 = 0,39 + 0,35 TP + 0,14 TB	83,6	0,22
	MAC - TB	Rdt frais J+3 = - 0,33 + 0,43 MAC + 0,17 TB	85,2	0,21
	T. Cas. - TB	Rdt frais J+3 = 0,14 + 0,36 T Cas + 0,21 TB	66,0	0,32
	β-CN	Rdt frais J+3 = 8,48 + 0,007 β-CN	66,4	0,31
Rend _t sec J+3 (kg MS/100 kg lait)	Ten. prot. - TB	Rdt sec J+3 = - 1,60 + 0,13 TP + 0,11 TB	71,3	0,15
	MAC - TB	Rdt sec J+3 = - 1,60 + 0,15 MAC + 0,13 TB	66,9	0,16
	T. Cas. - TB	Rdt sec J+3 = - 1,79 + 0,14 T Cas + 0,14 TB	62,6	0,17
	β-CN	Rdt sec J+3 = 3,18 + 0,0025 β-CN	35,0	0,22
Rend _t frais J+10 (kg/100 kg lait)	Ten. prot. - TB	Rdt frais J+10 = 0,44 + 0,30 TP + 0,16 TB	85,6	0,19
	MAC - TB	Rdt frais J+10 = - 0,18 + 0,38 MAC + 0,18 TB	87,0	0,18
	T Cas. - TB	Rdt frais J+10 = 0,002 + 0,32 T Cas + 0,21 TB	71,5	0,27
	β-CN	Rdt frais J+10 = 7,71 + 0,006 β-CN	76,4	0,23
Rend _t sec J+10 (kg MS/100 kg lait)	Ten. prot.	Rdt sec J+10 = 3,03 + 0,08 TP	30,7	0,15

I.3.2 - Rendement fromager J+3

Rendement frais :

La teneur en protéines ou en MAC explique respectivement 74,3 ou 71,6 % des variations du rendement frais à J+3. La prédiction est améliorée avec la prise en compte du TB, respectivement de 9 ou 13 % (tableau III.14).

La teneur en caséines explique seulement 46 % des variations. Après addition du TB, le coefficient de détermination du modèle est de 66 %. La teneur en β -CN explique à elle seule 68 % des variations du rendement frais, soit 20 % de plus que la teneur en caséines, confirmant son rôle prépondérant dans la prédiction du rendement.

Rendement sec :

Les variations du rendement sec sont expliquées à 48 % ou 38 % par la teneur en protéines ou en MAC. La prise en compte du TB permet d'améliorer le coefficient de détermination de 23 % ou 29 % respectivement.

Dans le modèle utilisant teneur en caséines et taux butyreux, le TB explique 35 % de la variabilité et la teneur en caséines 28 %. Parmi les différentes caséines, seule la teneur en β -CN intervient significativement ($p < 0,05$), le TB n'intervenant alors plus significativement (tableau III.14).

I.3.3 - Rendement fromager J + 10

Rendement frais :

La teneur en protéines ou en MAC explique respectivement 72 % ou 68 % des variations du rendement. La prédiction est améliorée de 14 ou 19 % avec la prise en compte du TB.

La teneur en caséines explique 46 % de la variabilité, le cumul des variables taux de caséines et TB 71 %. La teneur en β -CN explique à elle seule 76 % des variations du rendement, le TB n'intervenant alors plus significativement ($p < 0,05$). La β -CN est donc la fraction protéique la plus importante dans la prédiction du rendement frais à J + 10 (tableau III.14).

Rendement sec :

La teneur en protéines du lait n'explique que 31 % des variations. La teneur en MAC, en caséines totales ou les teneurs des différentes caséines ne sont pas des paramètres explicatifs (seuil de 5 %).

**Tableau III.15 - Equations de régression du rendement fromager
établies à partir des paramètres technologiques
et de composition chimique du lait**

(n = 15)

Variable expliquée	Variables explicatives au seuil de 5 %	Equation de régression	Coefficient de détermination r ² (%)	Ecart type résiduel
Rend _t frais J+1 (kg/100 kg lait) Rend _t sec J+1	K20 K20 - TP /	Rdt frais J+1 = 16,66 - 0,033 K20 Rdt frais J+1 = 9,75 - 0,021 K20 + 0,211TP	73,9 85,6	0,29 0,23
Rend _t frais J+3 (kg/100kg lait) Rend _t sec J+3 (kgMS/100kg lait)	K20 TP - K20 K20	Rdt frais J+3 = 16,09 - 0,030 K20 Rdt frais J+3 = 8,70 + 0,225 TP - 0,018 K20 Rdt sec J+3 = 5,99 - 0,011 K20	73,5 89,1 41,3	0,27 0,18 0,21
Rend _t frais J+10 (kg/100 kg lait) Rend _t sec J+10 (kg MS/100 kg lait)	K20 K20	Rdt frais J+10 = 14,91 - 0,026 K20 Rdt sec J+10 = 5,75 - 0,007 K20	66,6 38,2	0,28 0,14

I.4 - Explication du rendement fromager à partir des paramètres technologiques et de composition chimique

Dans un premier temps les équations de régression sont établies à partir des paramètres technologiques seuls (R et K_{20}) puis avec ces variables cumulées avec teneur en protéines et taux butyreux.

I.4.1 - Rendement fromager J + 1

Rendement frais :

Le temps d'obtention de la fermeté standard (K_{20}) permet d'expliquer 74 % des variations du rendement frais à J + 1. Le temps de coagulation ne rentre pas dans l'équation de régression (seuil de 5 %) après la prise en compte du K_{20} , bien qu'il soit corrélé significativement au rendement frais ($r = -0,52$).

La prise en compte de la teneur en protéines permet d'améliorer la prédiction du rendement obtenue à partir du K_{20} de 12 % (tableau III.15).

Rendement sec :

Le temps de coagulation et le K_{20} ne sont pas des paramètres explicatifs au seuil de 5 % des variations du rendement sec.

I.4.2 - Rendement fromager J + 3

Rendement frais :

Le K_{20} explique 73,5 % des variations du rendement. Le temps de coagulation est corrélé significativement au rendement frais ($r = -0,50$) mais ne permet pas d'améliorer la prédiction après prise en compte du K_{20} .

Dans le modèle utilisant teneur en protéines et K_{20} , la teneur en protéines explique 74 % de la variabilité ; le K_{20} améliore la prédiction de 15 % (tableau III.15).

Rendement sec :

Le K_{20} explique 41 % des variations du rendement sec. Après prise en compte des paramètres de composition chimique (TP et TB), le K_{20} ne rentre pas dans l'équation de prédiction au seuil de 5 %.

1.4.3 - Rendement fromager J + 10

Rendement frais

Le K_{20} explique 67 % des variations du rendement frais à J + 10. Le temps de coagulation n'est pas pris en compte.

Le K_{20} ne permet pas d'améliorer la prédiction du rendement établie à partir de la teneur en protéines et du TB.

Rendement sec

Le K_{20} explique 38 % des variations du rendement sec. La teneur en protéines n'est pas prise en compte au seuil de 5 %.

1.5 - Discussion

1.5.1 - Explication du rendement à partir des paramètres de composition chimique

a) Rendement frais

Les coefficients de détermination des rendements frais à partir de la teneur en protéines et du taux butyreux sont élevés (>76 %).

L'augmentation d'1 g/l de la teneur en protéines permet un accroissement variant entre + 0,30 et +0,36 kg de fromage pour 100 kg de lait. MAUBOIS et al (1970) obtenaient une amélioration variant entre 0,18 et 0,48 kg de camembert pour 100 litres de lait entier par g de TP supplémentaire. TROUVE (1987) a enregistré une augmentation de 0,19 kg pour 100 litres de lait écrémé.

La teneur en caséines n'améliore pas les prédictions par rapport à celles établies à partir de la teneur en protéines. Cette observation, contraire aux résultats de MAUBOIS et al (1970), correspond à ceux de TANAN (1990). Dans notre essai, la proportion de caséines dans les protéines totales n'a pas varié significativement et le TP suffit à estimer "la qualité fromagère" des laits.

Les modèles établis à partir de la teneur en MAC et du TB sont légèrement meilleurs que ceux établis à partir de la teneur en protéines et du TB. Mais la détermination de la teneur en MAC nécessite une coagulation par la présure du lait.

Le rôle majeur joué par le β -CN est montré par l'excellent niveau de prédiction du rendement frais à partir de sa teneur (g/l). Le pourcentage de β -CN est corrélé

significativement aux rendements frais ($r > 0,55$) alors que les autres caséines ne le sont pas. Ces résultats confortent ceux obtenus par ALI et al (1980), MARZIALI et Ng KWAI HANG (1986 a), COSSIN (1988) et TANAN (1990).

b) Rendement sec

Les coefficients de détermination des rendements secs à partir de la teneur en protéines et du TB sont inférieurs aux valeurs obtenues pour les rendements frais. Relativement bons à J+1 et J+3, le coefficient est médiocre à J+10, malgré la prise en compte des différences de teneurs en matière sèche des fromages, différences liées à l'absence de contrôle de l'hygrométrie en salle d'affinage.

L'augmentation du rendement fromager sec par gramme de protéines supplémentaire se situe entre 0,08 et 0,13 kg de fromage pour 100 kg de lait. MAUBOIS et al (1970) obtenaient des augmentations variant entre 0,07 et 0,19 kg de camembert pour 100 l de lait entier.

La teneur en caséines améliore peu (J+1) ou pas (J+3 et J+10) la prédiction par rapport à la teneur en protéines, confirmant les observations de MAUBOIS et al (1970). A J+1, TANAN (1990) a observé un coefficient de corrélation plus élevé avec la teneur en caséines qu'avec la teneur en protéines. Il semble donc qu'à J+1 la teneur en caséines reflète mieux la quantité de matière retenue alors que la teneur en protéines reflèterait mieux la quantité d'eau.

1.5.2 - Explication du rendement à partir des paramètres technologiques et de composition chimique

Les coefficients de régression établis dans les équations de prédiction utilisant le K_{20} ne sont pas transposables à d'autres études, compte tenu du dysfonctionnement du formagraph utilisé provoquant un allongement du temps d'obtention de la fermeté standard par rapport aux valeurs de la bibliographie.

a) Rendement frais

Le temps d'obtention de la fermeté standard explique bien le rendement fromager frais ; les coefficients de détermination sont proches de ceux obtenus avec la teneur en protéines. Le temps de coagulation, bien que corrélé au rendement frais ($r < -0,40$), ne rentre pas dans les modèles après prise en compte du K_{20} . Dans notre étude, les transformations ne sont pas effectuées à technologie constante et les variations du temps de coagulation

**Tableau III.16 - Comparaison des régressions établies
à partir des paramètres chimiques seuls
et des paramètres chimiques + technologiques**

Part d'explication de chaque paramètre dans la régression optimale

Rendement expliqué	Paramètres chimiques		Paramètres chimiques et technologiques		
	Teneur en protéines	Taux butyreux	K20	Teneur en protéines	
J+1	frais	68 %	+ 9 %	74 %	+ 12 %
	sec	71 %	-	-	71 %
J+3	frais	74 %	+ 9 %	+ 15 %	74 %
	sec	48 %	+ 23 %	-	48 %
J+10	frais	72 %	+ 14 %	-	72 %
	sec	31 %	-	38 %	-

sont prises en compte puisque les différentes étapes de la transformation (tranchage, moulage) sont réalisées en fonction du temps de coagulation.

Le K_{20} reflète mieux que le TP les variations de rendement frais à J+1 mais c'est l'inverse à J+10 (tableau III.16).

L'utilisation simultanée du K_{20} et de la teneur en protéines améliore nettement les prédictions établies à partir de la composition chimique seule pour les rendements mesurés à J+1 et J+3. Ces résultats recoupent ceux de TROUVE (1987) et d'ALEANDRI et al (1989). A J+10, c'est le modèle utilisant la teneur en protéines et le taux butyreux qui est le meilleur (tableau III.16). Les variations de poids du fromage lors de l'affinage seraient donc plus liées à la composition chimique du lait qu'à la fermeté du coagulum mesurée au formagraph.

b) Rendement sec

Le temps d'obtention de la fermeté standard est un moins bon prédicteur du rendement que la teneur en protéines à J+1 et à J+3 mais c'est l'inverse à J+10 (tableau III.16).

Si les variations du rendement sec sont bien expliquées par la composition chimique, et la rétention en eau du caillé mieux reflétée par le K_{20} à J+1 et J+3, ce n'est pas le cas à J+10. Les variations de teneur en matière sèche des fromages à J+10 dépendent sans doute en grande partie de l'hygrométrie de la salle d'affinage, paramètre non contrôlé dans ce travail.

II - Influence de la saison sur la transformation fromagère

II.1 - Caractéristiques des laits transformés

II.1.1 - Effet élevage

Les caractéristiques moyennes des laits par exploitation sont reportées au tableau III.17.

Après écrémage partiel, le TB des laits de la Bouzule est supérieur de 0,5 g/l aux laits de l'ALPA ($p < 0,10$).

Tableau III.17 - Valeurs moyennes des caractéristiques physicochimiques et technologiques des laits de fin d'hiver par exploitation

	Bouzule n = 5	ALPA n = 5
Extrait sec ** (%) lait standardisé MG	11,45 (0,17)	11,24 (0,08)
TB initial (g/l)	40,1 (0,6)	40,2 (0,4)
TB après écrémage partiel * (g/l)	27,2 (0,7)	26,7 (0,3)
ANP (g N/l)	0,272 (0,012)	0,277 (0,018)
Teneur en protéines *** (g/l)	32,70 (0,53)	31,17 (0,38)
Teneur en caséines *** (g/l)	27,67 (0,44)	26,31 (0,40)
Teneur en MAC *** (g/l)	26,12 (0,55)	24,86 (0,38)
% Cas dans les protéines	84,6 (1,2)	84,4 (1,2)
% Caséines		
% αS-CN	47,4 (1,9)	48,3 (1,0)
% β-CN	37,4 (1,5)	35,2 (2,0)
% γK-CN	15,2 (0,6)	16,5 (1,8)
% Protéines du lactosérum		
% α la	19,4 (5,1)	26,5 (7,0)
% β Ig A**	53,8 (4,7)	43,4 (3,3)
% β Ig B	26,8 (1,6)	30,1 (4,2)
Minéraux (g/l)		
Calcium	0,98 (0,05)	0,99 (0,05)
Sodium	0,45 (0,06)	0,44 (0,05)
Magnésium	0,09 (0,01)	0,10 (0,01)
Phosphore	0,93 (0,06)	0,93 (0,06)
pH	6,76 (0,06)	6,75 (0,05)
Taille micellaire (nm)	174 (11)	181 (21)
R (min)	20,3 (2,5)	20,6 (1,9)
K20 (min)*	11,3 (1,1)	12,6 (1,9)

* significatif à 10 %

** significatif à 5 %

*** significatif à 1 %

La teneur en protéines est supérieure d'1,5 g/l en moyenne à la Bouzule, ce qui se traduit par une teneur en caséines supérieure d'1,4 g/l et une teneur en MAC supérieure d'1,3 g/l ($p < 0,01$).

Le pourcentage de caséines dans les protéines totales, les pourcentages d' α S-CN, γ K-CN, α la et β lgB ne varient pas significativement avec l'exploitation. Par contre, les pourcentages de β -CN et de β lg A sont significativement plus élevés ($p < 0,10$ et $p < 0,05$) pour les laits de la Bouzule.

Les teneurs en minéraux, le pH et la taille micellaire des laits ne sont pas statistiquement différents entre les deux exploitations.

Le temps de coagulation ne varie pas significativement mais le temps d'obtention de la fermeté standard est plus faible ($p < 0,10$) pour les laits de la Bouzule (tableau III.17).

II.1.2 - Effet saison

L'évolution dans le temps des caractéristiques physicochimiques et technologiques des laits (moyennes pour les deux élevages) est présentée au tableau III.18.

Le TB des laits après standardisation n'est pas statistiquement différent mais la teneur en ANP varie avec la semaine ($p < 0,10$).

La teneur en protéines est significativement influencée par la semaine ($p < 0,05$), l'écart maximum atteint 1,1 g/l. Par suite la teneur en caséines ($p < 0,1$) et la teneur en MAC ($p < 0,05$) varient avec la semaine.

Le pourcentage des caséines dans les protéines totales est significativement influencé par la semaine ($p < 0,05$). Les pourcentages de β -CN et γ K-CN dans les caséines totales et les pourcentages des différentes PLS ne sont pas statistiquement différents, seul le pourcentage d' α S-CN a varié ($p < 0,10$).

Les teneurs en calcium et en sodium varient ($p < 0,01$) ; elles augmentent pour les laits les plus tardifs. La teneur en phosphore varie au seuil de 10 % et la teneur en magnésium n'est pas influencée par la semaine.

Le pH n'a pas varié. La taille micellaire varie significativement ($p < 0,1$) : les laits les plus tardifs présentent des tailles micellaires plus faibles.

Le temps de coagulation et le temps d'obtention de la fermeté standard varient ($p < 0,05$) sans qu'il apparaisse de tendance nette.



Tableau III.18 - Valeurs moyennes des caractéristiques physicochimiques et technologique des laits de fin d'hiver par semaine de transformation

	Semaine 1 15-Mars n=2	Semaine 2 20-Mars n=2	Semaine 3 27-Mars n=2	Semaine 4 3-Avril n=2	Semaine 5 10-Avril n=2
Extrait sec (%) lait standardisé MG	11,30	11,42	11,50	11,22	11,29
TB initial (g/l)	40,1	40,6	39,6	40,2	40,2
TB après écrémage partiel (g/l)	27,2	26,5	27,5	26,5	26,9
ANP (g N/l) *	0,291	0,255	0,284	0,268	0,275
Teneur en protéines (g/l) **	31,77	32,28	32,32	32,04	31,26
Teneur en caséines (g/l) *	27,37	26,80	27,18	27,18	26,41
Teneur en MAC (g/l) **	24,95	25,84	25,93	25,61	25,10
% Cas dans les protéines **	86,1	83,0	84,1	84,8	84,5
% Caséines					
% α S-CN *	49,5	48,6	48,0	46,8	46,1
% β-CN	34,4	36,8	34,3	38,2	36,7
% γK-CN	16,1	14,6	16,7	15,0	17,2
% Protéines du lactosérum					
% α la	32,4	23,6	24,8	17,5	22,0
% β Ig A	47,6	49,3	44,5	51,5	50,2
% β Ig B	25,5	27,1	30,8	30,9	27,7
Minéraux (g/l)					
Calcium ***	0,94	0,98	0,94	1,05	1,02
Sodium ***	0,43	0,38	0,41	0,49	0,51
Magnésium	0,10	0,10	0,10	0,09	0,10
Phosphore *	0,94	1,00	0,85	0,91	0,95
pH	6,70	6,75	6,76	6,77	6,77
Taille micellaire * (nm)	189	198	171	163	166
R (min) **	20,5	19,5	21,7	23,0	20,5
K20 (min) **	10,4	12,0	13,2	13,6	10,7

Différence significative à * 10 % ** 5 % *** 1 %

**Tableau III.19 - Caractéristique des transformations et
des fromages fabriqués à partir des laits de fin d'hiver
Valeurs moyennes par exploitation**

	Bouzule n = 5	ALPA n = 5
Quantité lactosérum 24H ** (kg/100 kg de lait)	81,72 (1,02)	82,56 (0,66)
Teneur en N lactosérum *** (g N/l)	1,60 (0,05)	1,53 (0,04)
Extrait sec lactosérum (%)**	6,67 (0,05)	6,60 (0,05)
Rendement frais J+1 (kg/100kg)***	16,56 (0,92)	15,70 (0,77)
Extrait sec J+1 (%)	34,7 (1,7)	34,8 (2,1)
Rendement sec J+1 (kg/100 kg)***	5,73 (0,24)	5,46 (0,28)
Rendement frais J+3 (kg/100 kg)***	15,83 (0,63)	15,08 (0,52)
Extrait sec J+3 (%)	37,5 (2,7)	37,5 (2,0)
Rendement sec J+3 (kg/100 kg)**	5,92 (0,25)	5,65 (0,13)
Rendement frais J+10 (kg/100kg)***	14,00 (0,51)	13,27 (0,32)
Extrait sec J+10 (%)	41,3 (1,1)	41,7 (1,0)
Rendement sec J+10 (kg/100 kg)*	5,78 (0,18)	5,53 (0,05)
Composition des fromages :		
Teneur en N total * (mg N/g MS)	69,7 (2,1)	68,3 (2,0)
Gras sur sec (%)	43,5 (1,6)	44,3 (2,4)

* Différence significative à 10 %

* * Différence significative à 5 %

* * * Différence significative à 1 %

II.2 - Caractéristiques des transformations et des fromages fabriqués

II.2.1 - Effet élevage

Les laits de la Bouzule présentent une cinétique d'égouttage plus lente, ce qui se traduit par une quantité de lactosérum égoutté à 24 h plus faible ($p < 0,05$). Les teneurs en MS et en azote du lactosérum sont significativement plus élevées pour les laits de la Bouzule (tableau III.19).

Les rendements frais sont plus élevés pour les laits de la Bouzule ($p < 0,01$). Ils présentent une variabilité intraélevage relativement importante (2,5 à 5,5 %), comparativement à la variabilité des teneurs en protéines de ces mêmes laits (1,2 à 1,6 %). Les teneurs en MS des fromages fabriqués ne sont pas statistiquement différentes. Les rendements secs sont plus élevés pour les laits de la Bouzule ($p < 0,01$ à J+1, $p < 0,05$ à J+3 et $p < 0,10$ à J+10).

La teneur en azote total des fromages rapportée à leur matière sèche est plus élevée pour les laits de la Bouzule ($p < 0,10$). La teneur en matière grasse rapportée à la matière sèche ne varie pas significativement avec l'exploitation (tableau III.19).

II.2.2 - Effet saison

La quantité de lactosérum égoutté à 24 h varie avec la semaine ($p < 0,05$), les caillés de 5^{ème} semaine présentant une cinétique d'égouttage plus lente. La semaine influence significativement la teneur en MS ($p < 0,1$) et la teneur en azote ($p < 0,01$) du lactosérum (tableau III.20).

Les rendements frais varient significativement avec la semaine ($p < 0,05$). Les laits de la première série de transformation présentent les rendements frais les plus faibles, les laits de la dernière série les rendements frais les plus forts (tableau III.20). La teneur en MS des fromages varie significativement avec la semaine à J+1 et J+3 ($p < 0,01$) mais pas à J+10. Seuls les rendements secs mesurés à J+1 et J+3 sont influencés par la semaine ($p < 0,01$ et $p < 0,05$ respectivement), sans qu'on retrouve la hiérarchie enregistrée pour les rendements frais.

Les teneurs en azote total et en matière grasse des fromages rapportées à la matière sèche varient significativement ($p < 0,05$) avec la semaine (tableau III.20).

II.2.3 - Discussion

Afin de tenir compte des variations de teneur en protéines des laits entre élevages et entre semaines de transformation, les rendements des laits transformés en fin d'hiver sont



**Tableau III.20 - Caractéristiques des transformations et des fromages fabriqués
à partir des laits de fin d'hiver
Valeurs moyennes par semaine de transformation**

	Semaine 1 15-Mars	Semaine 2 20-Mars	Semaine 3 27-Mars	Semaine 4 3-Avril	Semaine 5 10-Avril
Quantité lactosérum 24H ** (kg/100kg de lait)	82,85	82,52	82,25	82,34	80,74
Teneur en N lactosérum *** (g N/l)	1,64	1,53	1,56	1,55	1,54
Extrait sec lactosérum * (%)	6,71	6,63	6,59	6,64	6,60
Rendement frais J+1 (kg/100kg)***	15,22	15,67	16,17	16,13	17,44
Extrait sec J+1 (%) ***	34,8	34,6	35,7	36,8	31,8
Rendement sec J+1 (kg/100 kg)***	5,30	5,42	5,77	5,93	5,55
Rendement frais J+3 (kg/100kg)**	14,69	15,21	15,61	15,54	16,21
Extrait sec J+3 (%)***	41,5	37,1	37,0	36,5	35,3
Rendement sec J+3 (kg/100kg) **	6,11	5,64	5,78	5,67	5,73
Rendement frais J+10 (kg/100kg) **	13,11	13,56	13,92	13,44	14,14
Extrait sec J+10 (%)	42,7	41,2	41,4	41,9	40,2
Rendement sec J+10 (kg/100 kg)	5,60	5,58	5,77	5,63	5,69
Composition des fromages :					
Teneur en N total (mgN/gMS)**	71,0	70,8	68,5	68,5	66,2
GRAS SUR SEC (%) **	45,9	41,9	42,2	43,6	46,0

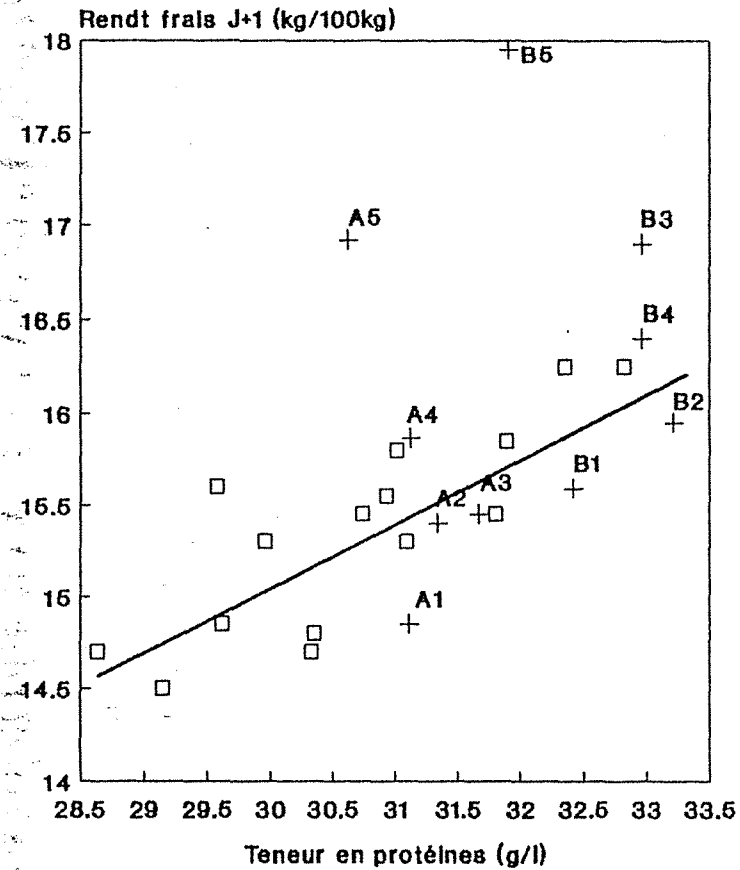
Différence significative à * 10%

** 5%

*** 1%

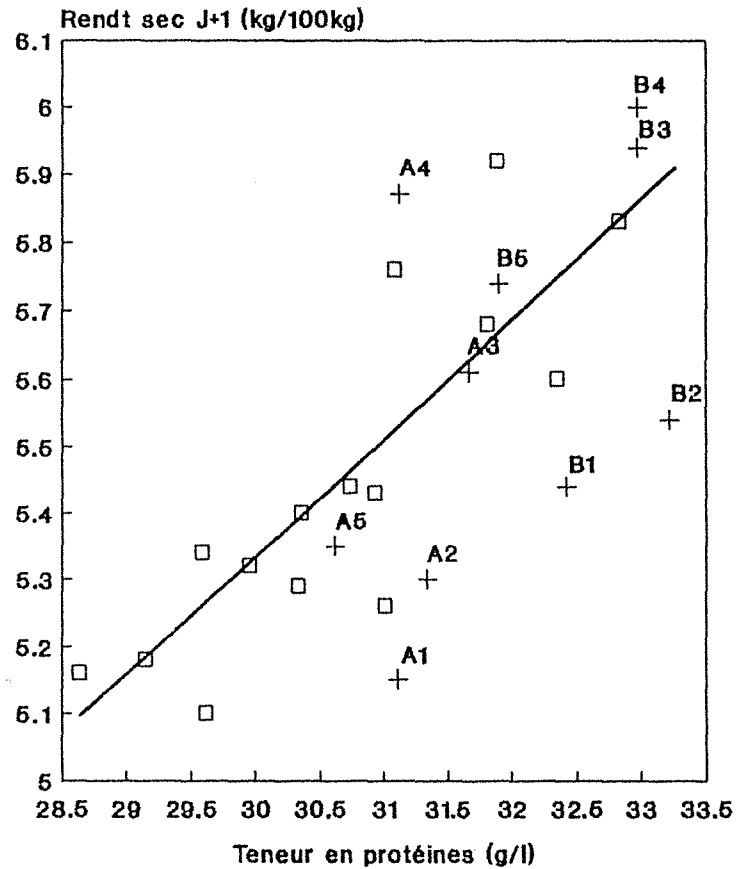
Figure III.13 : Rendement fromager à J+1 en fonction de la teneur en protéines.

a) Rendement frais



□: Laits de janvier
 —: Régression établie à partir
 des laits de janvier

b) Rendement sec



+ : Laits de mars-avril
 A : Alpa B : Bouzule
 1 : Semaine 1 ...

comparés aux rendements des laits de janvier (essai portant sur l'influence du niveau de TP). La comparaison porte uniquement sur les rendements mesurés à J+1 et à J+10.

a) Rendement fromager J+1

Les rendements frais des laits transformés en fin d'hiver montrent, après prise en compte de leur teneur en protéines, une variabilité importante. Comparés aux rendements obtenus pour les laits de janvier, ce sont surtout les laits de 5^{ème} semaine qui s'éloignent de la droite de régression (figure III.13.a). Ces laits ont présenté des caractéristiques de transformation nettement différentes (caillé s'égouttant mal et se brisant au retournement) et se caractérisent par un extrait sec des caillés à J+1 faible (31,8 % - tableau III.20).

La comparaison des rendements secs permet de tenir compte des différences de teneur en MS des fromages. Les rendements secs restent cependant variables pour une teneur en protéines donnée (figure III.13.b)

b) Rendement fromager J+10

La variabilité des rendements frais mesurés à J+10, après prise en compte de leur teneur en protéines, est importante (figure III.14.a). La comparaison des rendements frais de fin d'hiver et de janvier montre en général des valeurs nettement inférieures pour les laits de fin d'hiver. Les variations sont en partie liées aux différences de teneur en MS des fromages (tableau III.20).

La comparaison des rendements secs obtenus en fin d'hiver à ceux des laits à différents TP confirme l'importance des différences de teneur en MS des fromages (figure III.14.b). A même teneur en protéines, les laits de fin d'hiver présentent des rendements secs peu différents des laits de janvier. Seuls les rendements des fromages fabriqués à partir du lait de la Bouzule en semaines 3 et 5 se distinguent nettement des autres laits mais ils présentent un taux butyreux, après écrémage partiel, supérieur d'1g/l.

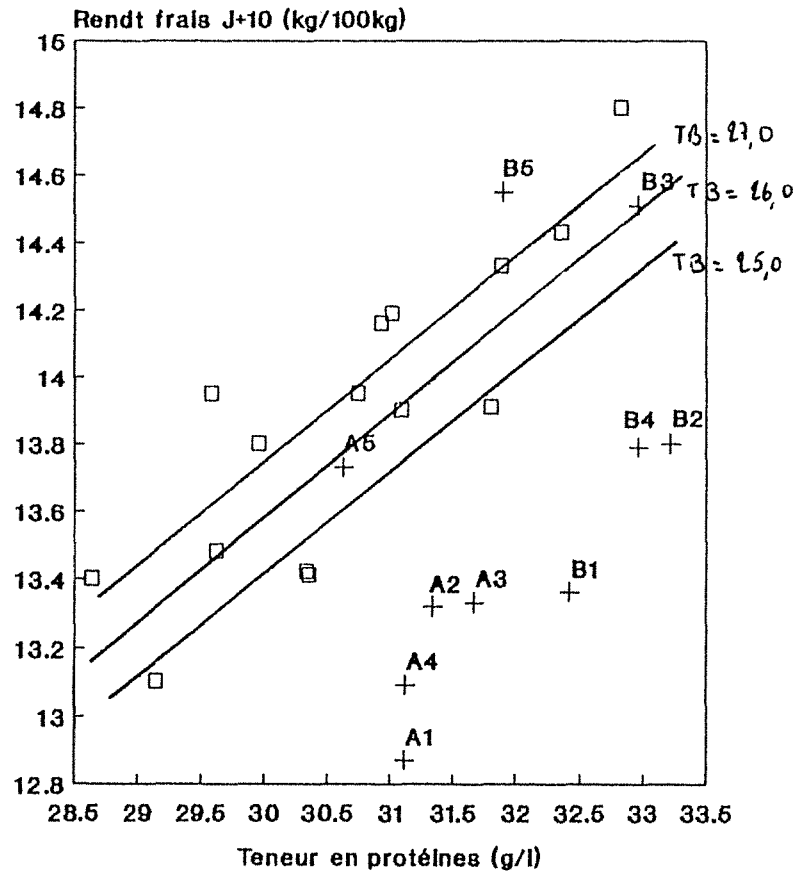
II.3 - Corrélations entre caractéristiques physicochimiques et technologiques des laits et rendement fromager

II.3.1 - Rendement fromager J+1

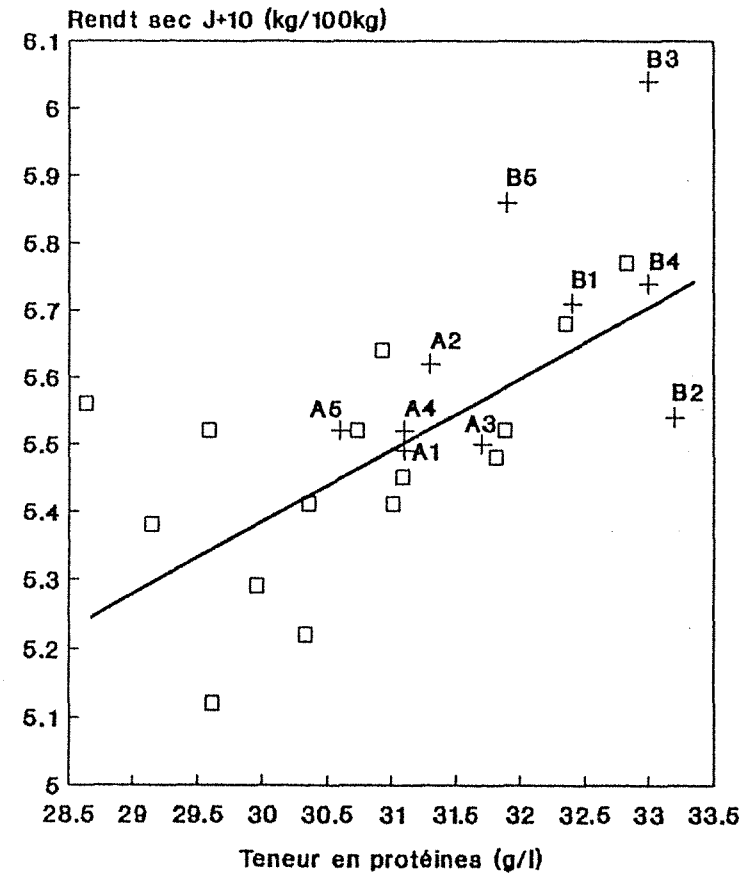
L'étude des corrélations établies entre rendements fromagers et caractéristiques physicochimiques et technologiques des laits (annexe 10) montre que les variables les plus liées au rendement frais à J+1 sont :

Figure III.14 : Rendement fromager à J+10 en fonction de la teneur en protéines.

a) Rendement frais



b) Rendement sec



□: Lait de janvier
 —: Régression établie à partir
 des lait de janvier

+ : Lait de mars-avril
 A : Alpa B : Bouzule
 1 : Semaine 1 ...

**Tableau III.21 - Corrélations entre caractéristiques physicochimiques
et technologiques de laits et rendements fromagers
des laits de fin d'hiver**

	Taux butyreux	ANP	Teneur en protéines	Teneur en caséines	Teneur en MAC	% Cas dans les protéines	% S-CN	% β-CN	% la	pH	K20	Taille micellaire	Teneur en sodium
Rendt frais J+1							- 0,87	0,59		0,60		- 0,62	0,62
Rendt sec J+1			0,53		0,62		- 0,63	0,70	- 0,55			- 0,72	
Rendt frais J+3							- 0,86	0,66		0,66		- 0,61	
Rendt sec J+3	0,60	0,73		0,68		0,66					- 0,63		
Rendt frais J+10	0,53				0,64		- 0,71	0,56		0,56			
Rendt sec J+10	0,75		0,56	0,58	0,58			0,54		0,56			

n = 10

Seules les corrélations significatives sont rapportées

- * significatif à 10 %
- ** significatif à 5 %
- *** significatif à 1 %

L'ensemble des corrélations entre ces différents paramètres figure à l'annexe 10.

- les pourcentages d' α S-CN ($r = -0,87$) et de β -CN ($r = 0,59$),
- la taille micellaire ($r = -0,62$),
- la teneur en sodium ($r = 0,62$),
- le pH ($r = 0,60$) (tableau III.21)

Ni la teneur en protéines, ni le taux butyreux ne sont corrélés significativement ($p < 0,10$) au rendement frais.

Le rendement sec est corrélé significativement à la teneur en protéines ($r = 0,53$) et en MAC ($r = 0,62$) mais les corrélations les plus fortes sont établies avec les pourcentages de β -CN ($r = 0,70$), d' α S-CN ($r = -0,63$) et la taille micellaire ($r = -0,72$). Le pourcentage d' α la est corrélé négativement au rendement sec ($r = -0,55$) (tableau III.21).

II.3.2 - Rendement fromager J+3

Les mêmes corrélations enregistrées avec le rendement frais mesuré à J+1 sont établies pour le rendement frais J+3, hormis avec la teneur en sodium (tableau III.21).

Le rendement sec J+3 est corrélé à la teneur en ANP ($r = 0,73$), au taux butyreux ($r = 0,60$), à la teneur en caséines ($r = 0,68$) et au pourcentage de caséines dans les protéines ($r = 0,66$). Le K_{20} est également un paramètre explicatif des variations du rendement sec ($r = -0,63$).

II.3.3 - Rendement fromager J+10

Le rendement frais est corrélé à la teneur en MAC ($r = 0,64$) et au TB du lait ($r = 0,53$). Les pourcentages d' α S-CN et de β -CN ($r = -0,71$ et $r = 0,56$ respectivement) ainsi que le pH ($r = 0,56$) sont explicatifs des variations du rendement frais (tableau III.21).

Le TB ($r = 0,75$) et les teneurs en caséines, en MAC ou en protéines ($r = 0,58$; $r = 0,58$ et $r = 0,56$ respectivement) sont les variables les plus corrélées au rendement sec. Celui-ci est également corrélé significativement au pourcentage de β -CN ($r = 0,54$) et au pH ($r = 0,56$).

III.4 - Discussion - Conclusion

Des paramètres autres que la teneur en protéines et le taux butyreux jouent sur les variations de rendement fromager des laits de fin d'hiver. Parmi ceux-ci la proportion de β -CN et le pH influent positivement sur le rendement frais, la proportion d' α S-CN et la taille micellaire (J+1 et J+3 seulement) négativement. A J+10 le rendement frais est également bien corrélé à la teneur en MAC et au taux butyreux.

Le rendement sec est corrélé significativement au taux butyreux (J+3 et J+10) et à la teneur en protéines (J+1 et J+10), en caséines (J+3 et J+10) ou en MAC (J+1 et J+10) mais à J+1 les proportions de β -CN et d' α S-CN et la taille micellaire restent les paramètres les plus explicatifs.

La teneur en protéines et le taux butyreux ne sont donc pas suffisants pour estimer le rendement fromager en fin d'hiver, notamment à J+1 et J+3. En revanche, à J+10 le rendement sec est le mieux corrélé aux TB et teneurs en protéines.

Il semble donc que les laits aient des caractéristiques propres en fin d'hiver, qui se traduisent par des comportements différents en transformation, à la fois au niveau des rendements frais et des rendements secs. Au cours de l'affinage, l'influence de ces caractéristiques tendrait à s'atténuer. A J + 10, la prise en compte des différences de teneur en MS des fromages obtenus réduit considérablement les écarts par rapport aux laits transformés en janvier. Les paramètres reflétant le mieux les variations du rendement sec à J+10 sont les mêmes que ceux explicatifs des rendements des laits transformés en janvier (TB - teneur en protéines et % β -CN).

Il ne semble pas que les facteurs zootechniques puissent être mis en cause pour expliquer les variations des caractéristiques physicochimiques et des rendements fromagers: en effet, les troupeaux suivis n'ont pas présenté de variation d'effectif importante, la ration de base distribuée était de qualité constante et l'ingestion des fourrages par les vaches laitières n'a pas varié de manière significative au cours des cinq semaines d'expérimentation.

Par contre, les conditions climatiques correspondant aux journées de production du lait ont varié au cours de l'essai :

- températures élevées lors des 2 premières semaines : 9°C et 11°C
- température faible en 3ème semaine : 5°C
- température élevée en semaine 4 : 11°C
- température faible en semaine 5 : 5°C

Cependant, nous n'observons pas de variation systématique de la composition du lait ou des rendements avec l'évolution des températures. Il serait donc hasardeux de mettre en relation une variation de rendement et de température.

En ce qui concerne les conditions de transformation, il faut distinguer la phase de caillage et l'affinage :

- La salle de transformation étant sous contrôle d'humidité et de température, les paramètres climatiques extérieurs n'ont pu avoir que peu d'effets lors de la transformation du lait en caillé.

- Seul l'affinage, pendant lequel l'humidité n'était pas contrôlée, a pu avoir des conséquences sur la composition finale du fromage, ce qui doit en partie expliquer les différences de MS observées à J+10.

III - Conclusion

Pour des transformations pâte molle, effectuées à partir de laits produits en plein hiver, les teneurs en protéines et en matière grasse permettent de relativement bien expliquer le rendement fromager frais ($R^2 > 75\%$). L'explication du rendement fromager sec à partir de ces mêmes variables est nettement moins bonne ($R^2 \geq 31\%$). Ainsi, pour des laits dont la teneur en protéines varie entre 28,6 et 32,8 g/l et le taux butyreux entre 24,5 et 28,8 g/l, l'augmentation d'1 g de protéines permet d'améliorer le rendement fromager frais à J+10 de 0,3 kg pour 100 kg de lait, soit +2,2 %, et le rendement fromager sec de 0,08 kg/100 kg, soit +1,4 %.

La teneur en caséines ne permet généralement pas d'améliorer la prédiction du rendement fromager. Parmi les caséines du lait, la β -CN est la caséine ayant le plus d'influence sur le rendement.

Le temps d'obtention de la fermeté standard explique une part importante des variations de rendement frais. Cumulé avec la teneur en protéines, il permet d'obtenir les coefficients de détermination du rendement frais les plus élevés à J+1 et J+3 ($R^2 > 85\%$). À J+10 les prédictions les meilleures restent celles établies à partir des paramètres de composition chimique.

La prise en compte de la teneur en protéines et du taux butyreux ne suffit pas à expliquer de manière satisfaisante les variations de rendement des laits de fin d'hiver. Les fromages sont caractérisés par des variations importantes de leur teneur en matière sèche. Les rendements secs, après prise en compte de leur teneur en protéines, restent variables à J+1 et J+3 mais à J+10 le rendement sec est bien expliqué par la teneur en protéines et le TB.

D'autres paramètres de composition physicochimique des laits entrent en ligne de compte : les pourcentages d' α S-CN et β -CN, le pH et la taille micellaire.

Les variations de composition physicochimique des laits et de rendement fromager à cette période semblent difficile à relier à des facteurs de production.

CONCLUSION GENERALE

A la production, le taux protéique des laits de troupeaux peut être amélioré en intervenant sur :

- le niveau d'apport énergétique de la ration,
- le potentiel génétique taux des animaux, par le tri des animaux (réforme) ou la sélection.

Suivant les élevages, la marge de progrès possible sera plus ou moins importante pour chaque facteur de production; elle peut être globalement estimée dans une plage de 3 à 10%.

Dans les élevages à index TMMU très faible, il semblerait que le potentiel génétique soit le premier facteur limitant et empêche l'amélioration du TP par l'augmentation des apports énergétiques. L'effet de l'index "taux", notamment pour des potentiels très faibles, en interaction avec le niveau d'apport énergétique, mériterait d'être étudié de manière plus approfondie.

Le stade de lactation est le troisième facteur zootechnique expliquant les variations de TP des laits de troupeau; il peut être contrôlé par la répartition des vélages sur la campagne laitière. Les industriels laitiers souhaitant disposer d'une matière première dont la composition est la plus stable possible, il serait intéressant de déterminer la répartition des vélages la plus favorable à la production d'un tel lait, sans omettre les effets de paramètres interactifs extérieurs à l'animal tels que la saison et l'alimentation. Les répercussions sur la courbe des livraisons devraient également être envisagées.

Les aspects économiques n'ont pas été pris en compte dans ce travail dont l'objectif au niveau de la production était de hiérarchiser et de quantifier les facteurs influant sur le TP. Les répercussions des différentes modalités d'intervention retenues sur les produits et les charges de l'exploitation pourraient être étudiées dans une approche complémentaire.

L'amélioration du TP à la production se répercute directement **au niveau de la transformation** : en fabrication de pâtes molles, l'industriel laitier peut attendre un accroissement de rendement fromager de 3% par gramme de TP supplémentaire, pour une commercialisation 10 jours après transformation.

La variabilité de rendement fromager pour les laits de fin d'hiver ne peut pas être attribuée à une variation de l'alimentation. Cette variabilité est en partie due aux différences de teneur en matière sèche des fromages obtenus : à même teneur en protéines le rendement sec mesuré 10 jours après transformation est proche pour les laits de fin d'hiver de celui obtenu pour les laits transformés en janvier. L'identification et le dénombrement de la flore microbienne d'altération de la composition du lait, notamment des microorganismes produisant des enzymes protéolytiques, devrait permettre, dans des études complémentaires, de préciser leur rôle éventuel.

Sur le plan scientifique, certains apports, complémentaires d'autres travaux ou plus novateurs, peuvent être dégagés:

* Les interventions sur le niveau d'apport énergétique n'influencent directement, ni la proportion de caséines dans les protéines totales, ni les proportions des différentes caséines et PLS.

En revanche, les proportions des différentes caséines et PLS varient avec le niveau de TP des laits de mélange alors que le nombre caséique ne varie pas.

Par ailleurs, l'étude des variations intratroupeaux du TP montre que toute variation du TP est accompagnée d'une modification de la part prise par les caséines et les PLS. Notre approche, puisqu'effectuée sur laits de mélange, reste globale et ne permet pas de prendre en compte l'influence des différents facteurs zootechniques (alimentation, stade de lactation, saison). La réalisation d'études complémentaires sur laits individuels devrait permettre de préciser la part de chaque facteur zootechnique dans les variations de la répartition caséines - protéines du lactosérum. De même, des fabrications fromagères réalisées avec des laits de même origine mais pour lesquels des variations de TP ont été induites, permettraient de mesurer l'incidence des variations de la répartition caséines - protéines du lactosérum en transformation fromagère.

* L'utilisation du terme "qualité fromagère" nécessite de préciser les paramètres utilisés pour mesurer cette qualité.

Les corrélations établies entre paramètres de composition physicochimique et paramètres technologiques permettent d'envisager la caractérisation de la qualité fromagère des laits à partir des caractéristiques physicochimiques. Cependant, les composants du lait agissent en interaction et la qualité fromagère des laits ne pourra être définie qu'en considérant l'ensemble des paramètres de composition physicochimique intervenant.

Dans le cas de transformations fromagères, il paraît prudent de considérer séparément le poids de caillé obtenu après emprésurage et le poids de fromage après

affinage. Pour les études où le rendement après affinage est estimé, l'atmosphère des locaux d'affinage (température, humidité) devrait au moins être contrôlée.

* En transformation fromagère de type pâte molle, les meilleures prédictions du rendement frais mesuré 1 ou 3 jours après transformation sont établies à partir du K_{20} et du TP. En revanche à J+10, il est prédit au mieux à partir du TP et du TB. Les phénomènes variés et complexes intervenant lors de l'affinage interfèrent et la composition chimique du lait semble jouer un rôle plus important que les caractéristiques physiques du caillé.

La prédominance de la teneur en caséines par rapport à la teneur en protéines totales pour expliquer les variations de rendement n'apparaît pas dans ces travaux mais la proportion de caséines dans les protéines totales a peu varié. La prise en compte de ce paramètre est sans doute nécessaire pour des laits dont le nombre caséique varie plus fortement. Par contre, la teneur en β -CN, bien qu'elle n'améliore généralement pas les prédictions du rendement par rapport au TP, joue un rôle prépondérant en transformation fromagère.

Ce programme de recherche a bénéficié du soutien financier :

- * de l'Association Nationale de la Recherche Technique,
- * de la Direction Générale de l'Alimentation,
- * des industriels laitiers adhérents à la Fédération Régionale des Coopératives Laitières de l'Est et au Syndicat des Industries Laitières de l'Est,
- * de la Région Lorraine .

Les résultats présentés dans cette thèse ont fait l'objet de:

*** Communications:**

COLIN O., LAURENT F., VIGNON B., 1990

Teneurs en matière protéique coagulable des laits et rendements fromagers: Maîtrise du taux protéique et de la valeur fromagère du lait à la production.
Colloque Bilan ALIMENT 2000, Paris (F), 29-30 janvier.

COLIN O., LAURENT F., VIGNON B., 1990

Influence du niveau de TP et de ses variations sur la nature des protéines du lait.
23^e Congrès International de Laiterie, Montréal (C), 7-12 octobre.

COLIN O., LAURENT F., VIGNON B., 1990

Influence de la teneur en protéines du lait sur le rendement fromager en pâte molle.
23^e Congrès International de Laiterie, Montréal (C), 7-12 octobre.

*** Compte-rendus annuels**

Présentation des résultats aux industriels cofinanceurs

Présentation du 23 novembre 1988

Présentation du 27 juin 1989

Présentation du 22 juin 1990

*** Articles de vulgarisation**

(Le Révérend, Lait's go, Union Lorraine des Producteurs de Lait, 283 imp. Clément Ader, BP 79, 54710 LUDRES.)

COLIN O., 1988

Observations sur les taux protéiques en Lorraine.

COLIN O., octobre 1989

Des éleveurs lorrains améliorent leur TP: Pourquoi pas vous?

COLIN O., octobre 1990

Trois années d'essais en élevages sur le TP: Ce qu'il faut en retenir.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AGABRIEL G., COULON J.B., MARTY G., CHENEAU N., 1990**
Facteurs de variation du taux protéique du lait de vache. Etude dans les exploitations du Puy de Dôme.
Prod. Anim., 3 (2), 137-150.
- ALAIS C., 1984**
Science du lait. Principes des techniques laitières.
Ed. SEPAIC, 42 rue du Louvre, 75001 PARIS.
- ALEANDRI R., SCHNEIDER J.C., BUTTAZZONI L.G., 1989**
Evaluation of milk cheese production based on milk characteristics and formagraph measures.
J. Dairy Sci., 72, 1967-1975.
- ALI A.E., ANDREWS A.T., CHEESEMAN G.C., 1980**
Factors influencing casein distribution in cold-stored milk and their effects on cheese-making parameters.
J. Dairy Res., 47, 383-391.
- ANDREWS A.T., TAYLOR M.D., OWEN A.J., 1985**
Rapid analysis of bovine milk proteins by fast protein liquid chromatography.
J. Chromatography, 348, 177-185.
- AURIOL P., 1961**
Quelques facteurs de variation du temps de coagulation des laits individuels de vache.
Ann. Biol. Anim. Bioch. Biophys., 1 (2), 151-152.
- BANKS J.M., MUIR D.D., TAMINE A.Y., 1984**
Equations for estimation of the efficiency of Cheddar cheese production.
Dairy Industries International, 49 (4), 14-17.
- BANKS J.M., CLAPPERTON J.L., MUIR D.D., GIRDLER A.K., 1986**
The influence of diet and breed of cow on the efficiency of conversion of milk constituents to curd in cheese manufacture
J. Sci. Food Agric., 37, 461-468.
- BANKS W., 1987**
Opportunities for varying the composition of cow's milk.
J. Soc. Dairy Technol., 40 (4), 96-99.
- BARILLET F., BONAÏTI B., BOICHARD D., 1987**
Amélioration génétique de la composition du lait des brebis, des chèvres et des vaches.
In "Le lait, matière première de l'industrie laitière". Ed. INRA publications, CNRA Rte de Saint-Cyr, 78000 Versailles, 129-149.
- BILODEAU P.P., PETITCLERC D., St PIERRE N., PELLETIER G., St LAURENT G.J., 1989**
Effects of photoperiod and pair feeding on lactation of cows fed corn or barley grain in total mixed rations.
J. Dairy Sci., 72, 2999-3005.

BRUHN J.C., FRANKE A.A., 1977

Monthly variations in gross composition of California herds milks.
J. Dairy Sci., 60, 696-700.

BRULE G., LENOIR J., 1984

La coagulation du lait.
In "Le fromage". A. ECK. Ed. Lavoisier Technique et documentation, 11 rue Lavoisier,
75384 Paris, 1 (1), 1-21.

BRUN-BELLUT J., VIGNON B., BACHACOU J., MASSON P., 1982

Variations des teneurs en ANP et en urée du lait.
Dairy Science Abstracts, 45, 438.

BRUN-BELLUT J., LAURENT F., VIGNON B., 1984

Effets de l'alimentation sur la composition du lait.
Microbiologie-Aliments-Nutrition, 2, 123-138.

BRUN-BELLUT J., 1986

Détermination des besoins azotés de la chèvre en lactation.
Thèse de doctorat d'état, INPL-ENSAIA, NANCY.

BRUNNER J.R., 1981

Cows milk proteins: Twenty-five years of progress
J. Dairy Sci., 64, 1038-1054.

CASTLE M.E., GILL M.S., WATSON J.N., 1981

Silage and milk production: a comparison between barley and dried sugar beet pulp as
silage supplements.
Grass and Forage Science, 36, 319-324.

CHENAIS F., KEROUANTON J., 1988

Ensilage de maïs pour vaches laitières: quel concentré choisir?
CR 88062, ITEB, 149 rue de Bercy, 75595 PARIS cedex 12.

CNIEL, 1989

L'économie laitière en chiffres.
Centre National Interprofessionnel de l'Economie Laitière, 27 rue de la procession,
75015 PARIS.

COLLEAU J.J., LIENARD G., JOURNET M., 1979

Comparaison économique entre race Holstein et race Normande: premiers résultats.
Bull. Tech. CRZV Theix, 35, 67-84.

COSSIN V., 1988

Contribution à l'étude des aptitudes fromagères du lait de vache
Thèse de docteur-Ingénieur, INAPG.

COULON J.B., BINET M., 1987

Facteurs de variation du taux protéique du lait de vache en exploitation.
Bull. Tech. CRZV Theix, 68, 11-18.

COULON J.B., ROYBIN D., CONGY E., GARRET A., 1988 a

Composition chimique et temps de coagulation du lait de vaches: facteurs de variation dans les exploitations du pays de Thônes.
Prod. Anim., 4, 253-263.

COULON J.B., D'HOOR P., PETIT M., 1988 b

Influence of transition feeding pattern on milk production on the turnout of cows to pasture.
Livest. Prod. Sci., 20, 119-134.

COULON J.B., FAVERDIN P., LAURENT F., COTTO G., 1989

Influence de la nature de l'aliment concentré sur les performances des vaches laitières.
Prod. Anim., 2 (1), 47-53.

DAVIES D.T., LAW A.J.R., 1983

Variation in the protein composition of bovine casein micelles and serum casein in relation to micellar size and milk temperature.
J. Dairy Res., 50, 67-75.

DEGALDO I., RANDEL P.F., 1989

Supplementation of cows grazing tropical grass swards with concentrates varying in protein level and degradability.
J. Dairy Sci., 72, 995-1001.

DELOUIS C., 1984

Influence de la saison et du climat sur la composition du lait. Aspects endocrinologiques. In "La composition chimique du lait et ses incidences technologiques". Journées INRA ENSAR INAPG, septembre 1984.

DURAND P., QUENEHERVE B.F., FREMEAUX P., BARATON Y., DURAND G., 1988

Le taux protéique en Bretagne.
GIE lait viande de Bretagne, 111 Bd du Maréchal de Lattre de Tassigny, 35000 Rennes.

FALDET M.A., NALSEN T., BUSH L.J., ADAMS G.D., 1989

Utilization of wheat in complete rations for lactating cows.
J. Dairy Sci., 72, 1243-1251.

FEAGAN J.T., 1979

Factors affecting protein composition of milk and their significance to dairy processing.
Australian Journal of Dairy Technology, 34 (6), 77-81.

FNOCL, ITEB, 1989

Résultats de contrôle laitier. France 1988.
FNOCL, 149 rue de Bercy, 75595 PARIS Cedex 12.

FORD G.D., GRANDISON A.S., 1986

Effect of size of casein micelles on coagulation properties of skim milk.
J. Dairy Res., 53, 129-133.

FRASER D., LEAVER J.D., 1988

A systems study of high and low concentrate inputs for dairy cows: milk yield and composition, liveweight, feedintake, fertility and health over four years.
Research and Development in Agriculture, 5 (2), 93-101.

- FROC J., GILIBERT J., DALIPHAR T., DURAND P., 1988**
Composition et qualité technologique des laits de vaches laitières normandes et pie-noires. 1. Effet de la race.
Prod. Anim., 1 (3), 171-177.
- GAREL J.P., COULON J.B., 1990**
Effet de l'alimentation et de la race des vaches sur la fabrication de fromage d'Auvergne de Saint Nectaire.
Prod. Anim., 3 (2), 127-136.
- GILLES J., LAWRENCE R.C., 1985**
The yield of cheese
New Zealand Journal of Dairy Science and Technology, 20, 205-214.
- GRANDISON A.S., FORD G.D., MILLARD D., OWEN A.J., 1984**
Chemical composition and coagulating properties of renneted milks from cows during early lactation.
J. Dairy Res., 51, 407-416.
- GRANDISON A.S., MANNING D.J., THOMSON D.J., ANDERSON M., 1985 a**
Chemical composition, rennet coagulation properties and flavour of milks from cows grazing ryegrass or white clover.
J. Dairy Res., 52, 33-39.
- GRANDISON A.S., FORD G.D., MILLARD D., ANDERSON M., 1985 b**
Interrelationships of chemical composition and coagulation properties of renneted milks from dairy cows grazing ryegrass or white clover.
J. Dairy Res., 52, 41-46.
- GRANDISON A.S., ANDERSON M., FORD G.D., NEWELL L., 1985 c**
Interrelationships between the diet fed to cows, composition and properties of milk and composition and quality of Cheshire cheese from farmhouse manufacturers.
J. Dairy Res., 52, 587-593.
- GRANDISON A.S., FORD G.D., 1986 a**
Effects of variation in somatic cell count on the rennet coagulation properties of milk and on the yield, composition and quality of Cheddar cheese.
J. Dairy Res., 53, 645-655.
- GRANDISON A., 1986 b**
Causes of variation in milk composition and their effects on coagulation and cheesemaking.
Dairy Industries International, 51 (3), 21-24.
- GRAY R.M., MACKENZIE D.D.S., 1987**
Effect of plane of nutrition on the concentration and yield of whey proteins in bovine milk.
New Zealand Journal of Dairy Science and Technology, 22, 157-165.
- GRILLON C., 1987**
Éléments d'étude du taux protéique des laits en Lorraine.
Mémoire fin d'études, ENSAIA, NANCY.

GRIPPON J.C., 1987

La protéolyse.

In "Le lait, matière première de l'industrie laitière". Ed. INRA publications, CNRA Rte de Saint-Cyr, 78000 Versailles, 259-260.

GROSCLAUDE F., 1988

Le polymorphisme génétique des principales lactoprotéines bovines
Prod. Anim., 1 (1), 5-17.

HAENLEIN G.F., SCHULTZ L.H., ZIKAKIS J.P., 1973

Composition of proteins in milk with varying leucocyte contents.
J. Dairy Sci., 56, 1017-1023.

HAYES J.F., NG KWAI HANG K.F., MOXLET J.E., 1984

Heritability of milk casein and genetic and phenotypic correlations with production traits.
J. Dairy Sci., 67, 841-846.

HODEN A., COULON J.B., DULPHY J.P., QUILLET J.P., 1984

Influence des principaux régimes alimentaires sur les taux butyreux et protéique du lait.
In "La composition chimique du lait et ses incidences technologiques". Journées INRA ENSAR INAPG, septembre 1984.

JOURNET M., REMOND B., 1980

Influence de l'alimentation et de la saison sur les fractions azotées du lait de vache.
Le lait, 60, 140-159.

JOURNET M., FAVERDIN P., REMOND B., VERITE R., 1983

Niveau et qualité des apports azotés en début de lactation.
Bull. Tech. CRZV Theix, 51, 7-17.

JOURNET M., 1984

Influence de la saison sur les taux butyreux et protéique du lait.
In "La composition chimique du lait et ses incidences technologiques". Journées INRA ENSAR INAPG, septembre 1984.

KEMPF M., 1986

Le taux d'urée du lait: facteurs de variation, intérêts de sa mesure.
ITEB, non-publié.

KEMPF-RAPIN M., SEEGER J., 1990

Taux protéique du lait: facteurs en cause dans les fluctuations mensuelles à la ferme.
Outils d'interprétation des résultats.
CR 90025, ITEB, 149 rue de Bercy, 75595 Paris Cedex 12.

KERJEAN J.R., 1984

Conséquences fromagères des variations de composition du lait. Qualité chimique du lait de fromagerie.
In "La composition chimique du lait et ses incidences technologiques". Journées INRA ENSAR INAPG, septembre 1984.

KROEKER E.M., NG KWAI HANG K.F., HAYES J.F., MOXLEY J.E., 1985 a

Effect of β lactoglobulin variant and environmental factors on variation in the detailed composition of bovine milk serum proteins.
J. Dairy Sci., 68, 1637-1641.

KROEKER E.M., NG KWAI HANG K.F., HAYES J.F., MOXLEY J.E., 1985 b

Effects of environmental factors and milk protein polymorphism on composition of casein fraction in bovine milk.
J. Dairy Sci., 68, 1752-1757.

LAURENT F., 1989 a

Influence de la nature du concentré: blé ou pulpes de betteraves, et du niveau de concentré sur la production des vaches laitières.
CR 89011, ITEB, 149 rue de Bercy, 75595 PARIS cedex 12.

LAURENT F., PARRASSIN P.R., VIGNON B., 1989 b

Qualité du lait de vache. Interaction entre le niveau d'apport en énergie et le type génétique: Influence sur la production et la composition du lait.
In "Caractéristiques physicochimiques et aptitudes technologiques des laits à la fabrication fromagère. Influence de quelques facteurs déterminants d'origine nutritionnelle, génétique et physiologique". M. JOURNET AIP qualité du lait INRA, 1987-1989, annexe 4.

LAURENT F., COOMANS D., GARDEUR J.N., VIGNON B., en cours de publication.

Variations de la composition azotée et des caractéristiques technologiques en fonction de la nature et du niveau d'apport d'aliment concentré.

LAWRENCE R.C., 1988

Les facteurs du rendement fromager des laits.
Rev. lait. Fr., 478, 85-92.

LE DORE A., 1977

Les fractions azotées du lait de vache: variation de leur concentration et de leur proportion relative en fonction des principales caractéristiques des animaux et du milieu.
Thèse de docteur-ingénieur, Université des Sciences et des Techniques du Languedoc.

LE DORE A., REMOND B., GRAPPIN R., JEUNET R., JOURNET M., 1986

Teneurs du lait de vache en ses principales fractions azotées et en matières grasses: effets de quelques caractéristiques des animaux et de leur alimentation.
Bull. Tech. CRZV Theix, 63, 13-20.

LEGARTO J., RIALLAND J., 1988

La distribution d'ensilage de maïs à des vaches laitières pâturant des prairies à base de fétuque-dactyle.
CR 88043, ITEB, 149 rue de Bercy, 75595 PARIS Cedex12.

LENOIR J., SCHNEID N., 1984

L'aptitude du lait à la coagulation par la présure.
In "Le fromage". A. ECK. Ed. Lavoisier Technique et documentation, 11 rue Lavoisier, 75384 Paris, 2 (2), 139-149.

LENOIR J., 1985

Les caséines du lait.
Rev. lait. Fr., 440, 17-23.

LENOIR J., VEISSEYRE R., 1987

La coagulation du lait par la présure et la correction des laits de fromagerie.
In "Le lait, matière première de l'industrie laitière". Ed. INRA publications, CNRA Rte de Saint-Cyr, 78000 Versailles, 329-342.

LINDSTROM U.B., ANTILA V., SYVAJARVI J., 1984

Anote on some genetic and nongenetic factors affecting clotting time of Ayrshire milk.
Acta Agric. Scand., 34, 349-355.

MARAVAL B., 1978

Variations de la composition minérale du lait de chèvre. Aspects particuliers des teneurs en calcium, en magnésium, en potassium, en sodium et en phosphore.
Thèse de 3^{ème} cycle, INPL-ENSAIA, NANCY.

MARTIAL J.P., 1988

Effets à long terme d'une réduction de la complémentation avec des régimes à base de foin et d'ensilage d'herbe. Essais Franche-Comté et Vosges.
In "Stratégies de complémentation des vaches laitières", ITEB, 149 rue de Bercy, 75595 PARIS cedex 12, 35-38.

MARZIALI A.S., NG KWAI HANG K.F., 1986 a

Relationships between milk protein polymorphisms and cheese yielding capacity.
J. Dairy Sci., 69, 1193-1201.

MARZIALI A.S., NG KWAI HANG K.F., 1986 b

Effects of milk composition and genetic polymorphism on coagulation properties of milk.
J. Dairy Sci., 69, 1793-1798.

MAUBOIS J.L., RICORDEAU G., MOCQUOT G., 1970

Etude des rendements en fromagerie de Camembert et de Saint Paulin.
Le Lait, Juillet-Aout, 351-373.

Mc MAHON D.J., BROWN R.J., 1982

Evaluation of formagraph for comparing rennet solutions.
J. Dairy Sci., 65, 1639-1642.

Mc MAHON D.J., BROWN R.J., 1984

Composition, structure and integrity of casein micelles : a review.
J. Dairy Sci., 67, 499-512.

MORAND-FEHR P., CHILLIARD Y., BAS P., 1986

Répercussions de l'apport de matières grasses dans la ration sur la production et la composition du lait de ruminant.
Bull. Tech. CRZV Theix, 64, 59-72.

MORHAIN B., 1978

Effet chez la vache laitière en début de lactation de la complémentation en DL-méthionine ou en son analogue hydroxylé.
Thèse de docteur ingénieur, INPL-ENSAIA, NANCY.

MURPHY J.J.,

The influence of feeding on milk composition.
Agricultural Institute, Moorepark, Fermoy, Co. Cork.

MURPHY J.J., MORGAN D.J., 1983

Effect of inclusion of protected and unprotected tallow in the supplement on the performance of lactating dairy cows.
Anim. Prod., 37, 203-210.

NG KWAI HANG K.F., HAYES J.F., MOXLEY J.E., MONARDES H.G., 1982

Environmental influences on protein content and composition of bovine milk.
J. Dairy Sci., 65, 1993-1998.

NG KWAI HANG K.F., HAYES J.F., MOXLEY J.E., MONARDES H.G., 1986

Relationships between milk protein polymorphisms and major milk constituents in holstein-friesian cows.
J. Dairy Sci., 69, 22-26.

NG KWAI HANG K.F., HAYES J.F., MOXLEY J.E., MONARDES H.G., 1987

Variation in milk protein concentrations associated with genetic polymorphism and environmental factors.
J. Dairy Sci., 70, 563-570.

NUYTS V., DELACROIX A., VASSAL L., 1989

Qualité du lait de vache. Caractérisation physicochimique et rhéologique de laits individuels de vaches de race tarine en relation avec le polymorphisme génétique des caséines.

In "Caractéristiques physicochimiques et aptitudes technologiques des laits à la fabrication fromagère. Influence de quelques facteurs déterminants d'origine nutritionnelle, génétique et physiologique". M. JOURNET AIP qualité du lait INRA, 1987-1989, annexe 8.

NUYTS V., VASSAL L., 1989

Qualité du lait de vache Influence de la race et de l'alimentation des vaches laitières en fabrication de fromages de type Saint Paulin.

In "Caractéristiques physicochimiques et aptitudes technologiques des laits à la fabrication fromagère. Influence de quelques facteurs déterminants d'origine nutritionnelle, génétique et physiologique". M. JOURNET AIP qualité du lait INRA, 1987-1989, annexe11.

OKIGBO L.M., RICHARDSON G.H., BROWN R.J., ERNSTROM C.A., 1985 a

Variation in coagulation properties of milk from individual cows.
J. Dairy Sci., 68, 822-828.

OKIGBO L.M., RICHARDSON G.H., BROWN R.J., ERNSTROM C.A., 1985 b

Casein composition of cow's milk of different chymosin coagulation properties.
J. Dairy Sci., 68, 1887-1892.

OKIGBO L.M., RICHARDSON G.H., BROWN R.J., ERNSTROM C.A., 1985 c

Interactions of calcium, pH, temperature and chymosin during milk coagulation.
J. Dairy Sci., 68, 3135-3142.

OLDHAM J.D., FRIGGENS N.C., 1989

Sources of variability in lactational performance.
Proc. Nutr. Soc., 48, 33-43.

PFIMLIN A., MORHAIN B., 1988

Comparaison de deux systèmes d'alimentation à deux niveaux de concentré sur cinq années successives. La Bouzule 1975-1980.
In "Stratégies de complémentation des vaches laitières", ITEB, 149 rue de Bercy, 75595 PARIS cedex 12, 21-24.

PHILLIPS L.J.C., SCHOFIELD S.A., 1989

The effect of supplementary light on the production and behaviour of dairy cows.
Anim. Prod., 48, 293-303.

PHIPPS R.H., WELLER R.F., ELLIOT R.J., SUTTON J.D., 1988

The effect of level and type of concentrate and type of conserved forage on dry matter intake and milk production of lactating dairy cows.
J. Agric. Sci. Cambr., 111, 179-186.

QUELEN M., KERJEAN J.R., 1987

Relations entre la composition des laits de grand mélange et leur aptitude à la coagulation.
Industries Alimentaires Agricoles, 11, 1083-1087.

RAMET J.P., WEBER F., 1980

Contribution à l'étude de l'influence des facteurs de milieu sur la coagulation enzymatique du lait reconstitué.
Le Lait, 591, 1-13.

REMOND B., 1984

Effet du stade de lactation et de l'âge sur la composition du lait.
In "La composition chimique du lait et ses incidences technologiques". Journées INRA ENSAR INAPG, septembre 1984.

REMOND B., 1985

Influence de l'alimentation sur la composition du lait de vache. 2. Taux protéique: facteurs généraux.
Bull. Tech. CRZV Theix, 62, 53-67.

REMOND B., 1987

Influence du stade de lactation et de l'âge sur la composition du lait.
In "Le lait, matière première de l'industrie laitière". Ed. INRA publications, CNRA Rte de Saint-Cyr, 78000 Versailles, 151-160.

REMOND B., JOURNET M., 1987

Effet de l'alimentation et de la saison sur la composition du lait.
In "Le lait, matière première de l'industrie laitière". Ed. INRA publications, CNRA Rte de Saint-Cyr, 78000 Versailles, 171-186.

RIBADEAU-DUMAS B., 1987

Les protéines.
In "Le lait, matière première de l'industrie laitière". Ed. INRA publications, CNRA Rte de Saint-Cyr, 78000 Versailles, 63-86.

RIBADEAU-DUMAS B., GRAPPIN R., 1989

Milk protein analysis.
Le lait, 69, 357-416.

ROGERS G.L., STEWART J.A., 1982

The effect of some nutritional and non-nutritional factors on milk protein concentration and yield.
Australian Journal of Dairy Technology, March, 26-32.

ROOK J.A.F., LINE C., 1982

The influence of the level of dietary protein on the yield and chemical composition of milk.
16th International Dairy Congress, Copenhagen, A: 57-63.

RULQUIN H., CHAMPREDON C., 1987

Les acides aminés dans l'alimentation des ruminants.
Bull. Tech. CRZV Theix, 70, 99-104.

SCHAAR J., 1984

Effects of K-CN genetic variants and lactation number on the renneting properties of individual milks.
J. Dairy Res., 51, 397-406.

SCHEER J., 1988

Contribution à l'étude de l'influence de la composition du lait et de la taille des micelles sur la coagulation enzymatique: approche statistique et phénoménologique.
Thèse de docteur de l'INPL, ENSAIA, NANCY.

SCHMIDT D.G., 1980

Colloidal aspects of casein.
Neth. Milk Dairy J., 34, 42-65.

SCHMIDT D.G., 1982

Developments in dairy chemistrie.
Ed. Fox. Appl. Sci. Publ. London.

SERIEYS F., AUCLAIR J., 1984

Influence des infections mammaires sur la composition chimique du lait.
In "La composition chimique du lait et ses incidences technologiques". Journées INRA ENSAR INAPG, septembre 1984.

STORRY J.E., FORD G.D., 1982 a

Development of coagulum firmness in renneted milk - A two-phase process.
J. Dairy Res., 49, 343-346.

STORRY J.E., FORD G.D., 1982 b

Some factors affecting the post clotting development of coagulum strength in renneted milk.
J. Dairy Res., 49, 469-477.

STORRY J.E., GRANDISON A.S., MILLARD D., OWEN A.J., FORD G.D., 1983

Chemical composition and coagulating properties of renneted milks from different breeds and species of ruminants.

J. Dairy Res., 50, 215-229.

SUTTON J.D., 1989

Altering milk composition by feeding.

J. Dairy Sci., 72, 2801-2813.

TANAN K., 1990

Supplémentation des vaches laitières en méthionine et lysine protégées: effets sur la production, la composition et la valeur technologique du lait.

Mémoire fin d'études, ENSAIA, NANCY.

TROUVE E., 1987

Contribution à l'étude de l'aptitude fromagère des laits.

Mémoire fin d'études, ENSAIA, NANCY.

VEISSEYRE R., 1975

Technologie du lait. Constitution, récolte, traitement et transformation du lait.

Ed. la maison rustique, 26 rue Jacob, 75006 PARIS.

VERTES C., HODEN A., GALLARD Y., 1989 a

Effet du niveau d'alimentation sur la composition chimique et la qualité fromagère du lait de vaches Holstein et Normandes.

Prod. Anim., 2(2), 89-96.

VERTES C., HODEN A., 1989 b

Qualité fromagère des laits de vache en fonction des régimes à base d'herbe

Le lait, 69, 197-209.

VIGNON B., 1976

La fraction azotée non protéique du lait: importance, nature et variation.

Thèse de docteur es Sciences, INPL-ENSAIA, NANCY

VIGNON B., LAURENT F., JOURNET M., 1978

Variations de la teneur en azote non protéique et en urée du lait à la mise à l'herbe des vaches laitières.

Ann. Zootech., 27, 303-315.

VIGNON B., LAURENT F., 1979

Influence de l'alimentation des ruminants sur la teneur en azote non protéique du lait.

Ann. Nutr. Alim., 33, 569.

WEBER F., 1984

L'égouttage du coagulum.

In "Le fromage". A. ECK. Ed. Lavoisier Technique et documentation, 11 rue Lavoisier, 75384 Paris, 1 (1), 22-36.

SUMMARY

To improve protein content, two types of investigations, food energy supply level and cows sorting out, were carried out in farms. Their influence on physico-chemical and technological properties of herd milks has been measured and the cheese making ability characterized. Laboratory scale soft body-type cheese making were carried on to quantify the influence of protein content (P.C.) and of the different proteins on cheese yield and to characterize the effect of season.

The improve of food energy supply increased protein content (0,2 to 0,9 g/kg), casein content in one experiment (0,6 to 0,9 g/kg) and cheese yield measured in dairy industry (0,1 to 0,6 kg/100 kg of milk). In one experiment, the casein number remained constant, in the other one variations of nitrogen protein content and nitrogen casein content were not bound, casein number variations didn't seem to be bound to the level of food energy supply. The modification of food energy supply didn't influenced the relative proportions of the different caseins and whey proteins.

The elimination of ten percent of the multiparous cows with the lowest P.C. increased the protein content of herd milk (+ 0,2 g/kg) but decreased the milk production (- 0,3 kg/cow/day).

The linear regressions use have permitted to hierarchize the main zootechnical factors wich influenced P.C., that is to say in importance decreasing order the level of food energy supply (+ 0,45 g/kg of P.C. by supplementary U.F.L.), the protein and fat content genetic potential (+ 1,38 g/kg of P.C. by supplementary point of ITMMU) and the stage of lactation (+ 0,6 g/kg of P.C. by month in the falling phase of milk production).

Cheese making ability of milks could be characterized from physico-chemical composition parameters. Herd milks with lowest pH and lowest size of casein micelles were clotted rapidly. Milks with lowest curd firming rate (K_{20}) have presented high concentration of Ca, low concentration of Na and were clotted rapidly.

For bulk milks with different P.C., relative proportions of γ K-CN ($p < 0,01$) and α l ($p < 0,05$) increased with the P.C. level, relative proportions of α S-CN ($p < 0,1$) and β IgA ($p < 0,01$) decreased, but casein number remained constant. Inside a herd, when milk protein

content varied, the part of caseins and whey proteins in these variations is modified. All variations of milk P.C. inside a herd would go with an increase of casein number.

When laboratory scale soft body-type cheese making were carried on with fat standardized milk, the best predictions of actual cheese yield, measured 1 or 3 days after clotting, have been established in using K_{20} and P.C. ($r^2 = 0,86$ or $r^2 = 0,89$ respectively). Actual cheese yield at day 10 could be well explained from protein and fat contents ($r^2 = 0,86$). On the contrary, the dry matter cheese yield could be well predicted using protein and fat contents of milk at day 1 and day 3 ($r^2 = 0,71$ for the two days) or K_{20} at day 10 ($r^2 = 0,86$).

The use of casein content instead of protein content didn't improved generally the predictions of cheese yield. The concentration of β -CN explained a large part of the actual cheese yield variations ($r^2 > 0,63$).

So, for herd milks with protein content varying between 28,6 g/l and fat content between 24,5 and 28,8 g/l, the increase of 1 g/l protein content have improved actual cheese yield of 0,3 kg/100kg of milk (+2,2%) and dry matter cheese yield of 0,08 kg/100kg (+1,4%), when measured 10 days after clotting.

Cheese yield of milks produced in last winter have presented large variations. Dry matter content of cheese has varied widely between dates of processing. Protein and fat contents didn't explain adequately the variations of cheese yield, except for dry matter cheese yield at day 10. Other parameters (proportions of α S-CN and β -CN, pH and size of casein micelles) also participated in the explanation of cheese yield variations. The variations of physico-chemical composition of milk and of cheese yield at this time of the year didn't seem to be bound to zootechnical factors.

ANNEXES

ANNEXE 1

DETERMINATION DE LA TENEUR EN MATIERE SECHE

Lait-Lactosérum

10 ml de lait entier ou de lactosérum sont placés dans une coupelle en inox contenant du sable de Fontainebleau et un agitateur en verre, préalablement placée à 103°C pendant 24 h et pesée (P₁) après refroidissement dans un dessiccateur.

Après ajout de l'échantillon et pesée (P₂), la coupelle est étuvée à 103°C pendant 24 h puis pesée à nouveau (P₃) après refroidissement dans un dessiccateur.

La teneur en matière sèche de l'échantillon est obtenue par le rapport :

$$\frac{P_3 - P_1}{P_2 - P_1}$$

Fromage

La prise d'essai est constituée d'environ 5 g de fromage, prélevé au centre du fromage, pesé précisément puis broyé le plus finement possible dans le sable de Fontainebleau à l'aide d'un agitateur.

La teneur en M.S. est déterminée comme ci-dessus.

ANNEXE 2

DETERMINATION DE LA TENEUR EN AZOTE PAR LA METHODE DE KJELDAHL

Minéralisation

Acide sulfurique concentré
+ Catalyseur (sulfate de sodium + sulfate de cuivre)

Distillation et dosage

* Mode manuel

L'ammoniaque libéré par ajout d'un excès de soude est piégé dans une solution d'acide sulfurique de normalité N/50. L'excès d'acide sulfurique est dosé en retour par une solution de soude de normalité N/50 (dosage titrimétrique).

* Mode automatique (Vapodest 6 - Gerhardt)

L'ammoniaque libéré par ajout d'un excès de soude est piégé dans une solution d'acide borique puis dosé en retour par une solution d'acide sulfurique de normalité connue (dosage pH-métrique).

Annexe 3

Matrice des corrélations établies entre paramètres de composition physico-chimique et paramètres technologiques

n = 158

Corrélations significatives au seuil de 1%.

	NTOTA	ANP	NPROT	NSDL	NPLS	NCAS	TP	LEUCD	PASCN	PBTCN	PGKCN	PALA	PBLGA	PBLGB	PH	TLMIC	QASCN	QBTCN	QKCN	QALA	QBLGA	QBLGB	CALCI	SODIU	PHOSP
NTOTA	1.000																								
ANP	0.209	1.000																							
NPROT	0.988		1.000																						
NSDL				1.000																					
NPLS		-0.304		0.929	1.000																				
NCAS	0.932	0.167	0.925	-0.385	-0.431	1.000																			
TP	0.240		0.260	0.255	0.279		1.000																		
LEUCD								1.000																	
PASCN		0.160		-0.160	-0.212		-0.232		1.000																
PBTCN									-0.706	1.000															
PGKCN				0.258	0.260		0.175		-0.515	-0.244	1.000														
PALA												1.000													
PBLGA				-0.210	-0.164							-0.564	1.000												
PBLGB				0.184	0.161				-0.170			-0.216	-0.685	1.000											
PH															1.000										
TLMIC		0.223							0.271		-0.260			-0.174	0.195	1.000									
QASCN	0.757	0.224	0.738	-0.408	-0.473	0.847			0.554	-0.425	-0.243					1.000									
QBTCN	0.692		0.700	-0.326	-0.329	0.758	0.164		-0.435	0.601						0.396	1.000								
QKCN	0.670		0.673			0.628	0.227		-0.379	-0.227	0.793				-0.210	0.322	0.351	1.000							
QALA				0.699	0.716	-0.229	0.213				0.234	0.711	-0.512			-0.275	-0.198		1.000						
QBLGA	-0.166	-0.332		0.554	0.651	-0.354						-0.400	0.625	-0.387		-0.330	-0.287			1.000					
QBLGB				0.660	0.679	-0.278	0.265		-0.236		0.221		-0.600	0.818		-0.354	-0.169		0.392		1.000				
CALCI											-0.190				0.395							1.000			
SODIU		0.168												-0.204		0.175					-0.236	0.162	1.000		
PHOSP									-0.245	0.254							0.253					0.338	0.188	1.000	

Annexe 4

Nature des protéines du lait en fonction du TP
 Moyennes des différents composants protéiques par classe de TP

Classe de TP	27,5 _a	28,5 _a	29,5 _a	30,5 _a	31,5 _a
	28,5 g/kg	29,5 g/kg	30,5 g/kg	31,5 g/kg	32,5 g/kg
n	46	71	73	34	23
aux protéique moyen (g/kg)	28,19	29,08	30,00	30,98	32,03
aux de caséine (g/kg)	24,05	24,71	25,58	26,40	27,18
aux de PLS (g/kg)	4,14	4,38	4,42	4,57	4,85
acides dans les protéines	85,3	84,9	85,3	84,2	84,9
Moyennes des fts caséines					
α-S-CN	49,3	49,5	48,2	48,2	46,9
β-CN	34,0	33,5	33,6	33,1	35,0
κ-CN	16,7	17,0	18,1	18,7	18,0
Moyennes des fts PLS					
α-La	31,8	30,1	31,5	33,1	33,3
βlgA	41,2	42,7	41,2	38,5	36,1
βlgB	27,0	27,1	27,3	28,4	30,6
Moyennes des fts protéines					
α-S-CN (g/kg)	11,86	12,23	12,33	12,72	12,75
β-CN (g/kg)	8,17	8,27	8,61	8,74	9,52
κ-CN (g/kg)	4,01	4,20	4,64	4,94	4,90
α-La (g/kg)	1,32	1,32	1,40	1,52	1,61
βlgA (g/kg)	1,68	1,86	1,81	1,73	1,74
βlgB (g/kg)	1,14	1,20	1,21	1,32	1,49
Moyennes des fts protéines					
α-S-CN	42,1	42,1	41,1	41,1	39,8
β-CN	29,0	28,4	28,7	28,2	29,7
κ-CN	14,2	14,4	15,5	15,9	15,3
α-La	4,7	4,5	4,7	4,9	5,0
βlgA	5,9	6,4	6,0	5,6	5,4
βlgB	4,1	4,1	4,0	4,2	4,7

Annexe 5

Nature des machines du fait en fonction du TP
Répartition des élevages par classe de TP.

classe de TP élevage	27,5 à 28,5 g/kg	28,5 à 29,5 g/kg	29,5 à 30,5 g/kg	30,5 à 31,5 g/kg	31,5 à 32,5 g/kg
1	1	4	6	2	
2	3	1	1		
3	2	1	2	2	1
4	1	1		1	
5	3	2	8		2
6		3			
7	2	3	1	1	
8		5	6	4	2
9	2	2	7	4	2
10	1	2	3		
11	3	2	3		
12	1	3	3	2	
13		5	2	3	
14		1	3	1	1
15	2	2			
16	2	4			
17	4	3	3		2
18	3	2	4		2
19	1	7	1	3	1
20	3	4	3	1	3
21	1	1	3		
24	4	2			2
25		1		2	3
26	1	2	1	2	1
27	1	3	2	1	1
28			2		
29	1	1			
30		1		5	
41	1	1	2		
42	1		3		
43	1	1	2		
44	1	1	2		
nombre d'élevages représentés dans la classe	25	30	24	15	13

Annexe 6 : Nature des protéines du lait en fonction du TP
Répartition des périodes de mesure par classe de TP.

Classe de TP	27,5 a ⁻	28,5 a ⁻	29,5 a ⁻	30,5 a ⁻	31,5 a ⁻
	28,5 g/kg	29,5 g/kg	30,5 g/kg	31,5 g/kg	32,5 g/kg
Année 1					
Période 1	17,4%	28,2%	2,7%	11,8%	
Période 2	34,8%	15,5%	12,3%	8,8%	4,3%
Période 3	4,3%	9,9%	13,2%	14,7%	13,0%
Période 4	4,3%	5,6%	17,8%	14,7%	
Année 2					
Phase 1	21,7%	8,4%	2,7%		
Phase 2	2,2%	12,7%	9,6%	23,5%	60,3%
Phase 3	13,0%	16,9%	10,9%	14,7%	
Phase 4	2,2%	2,8%	24,6%	11,8%	21,7%
Total	100%	100%	100%	100%	100%

Annexe 7

Nature des protéines du lait en fonction des variations de TP

Moyenne des variations des différents composants protéiques par classe de variation de TP

Classe de variation de TP	-1,5 a ⁺	-1,0 a ⁺	-0,5 a ⁺	0 a ⁺	+0,5 a ⁺	+1,0 a ⁺
Variable	-1,0 g/kg	-0,5 g/kg	0 g/kg	+0,5 g/kg	+1,0 g/kg	+1,5 g/kg
n	13	13	23	15	20	14
Δ TP (g/kg)	-1,12	-0,76	-0,17	0,36	0,77	1,29
Δ T Cas (g/kg)	-0,85	-0,23	+0,26	0,61	0,95	1,80
Δ T Cas / Δ TP	0,76	0,30	-1,57	1,69	1,22	1,39
Δ T PLS (g/kg)	-0,26	-0,54	-0,43	-0,25	-0,16	-0,50
Δ T PLS / Δ TP	0,24	0,71	2,56	-0,69	-0,21	-0,38
centages des protéines						
Δ % αS-CN	0,81%	-0,37%	-1,92%	-0,80%	+0,37%	-1,68%
Δ % β-CN	0,21%	-0,58%	1,65%	0,92%	-0,59%	0,70%
Δ % γ.K-CN	-1,01%	0,96%	0,28%	-0,12%	0,21%	0,98%
centages des protéines PLS						
Δ % αLa	0,48%	2,20%	0,60%	-2,20%	-0,81%	2,34%
Δ % βlg A	0	-1,01%	-0,61%	+0,28%	-3,22%	-2,32%
Δ % βlg B	-0,49%	-1,20%	0,01%	+1,92%	+4,04%	-0,01%
teneurs des différents protéines (g/kg)						
ten. αS-CN	-0,21	-0,20	-0,35	+0,10	+0,55	+0,44
ten. β-CN	-0,23	-0,22	+0,50	+0,42	+0,17	+0,79
ten. γ.K-CN	-0,41	+0,20	+0,11	+0,08	+0,22	+0,56
teneur αLa	-0,05	0	-0,10	-0,16	-0,09	-0,06
teneur βlg A	-0,11	-0,31	-0,19	-0,10	-0,17	-0,30
teneur βlg B	-0,10	-0,23	-0,14	0,01	0,09	-0,13

Annexe 8

Nature des protéines du lait en fonction des variations de

Répartition des périodes de mesure par classe de variation de TP

Classe de variation de TP Période	-1,5 à -1,0 g/kg	-1,0 à -0,5 g/kg	-0,5 à 0 g/kg	0 à +0,5 g/kg	+0,5 à +1,0 g/kg	+1,0 à +1,5 g/kg
année 1						
P 11.14	1	2	1	2	1	
P 14.21	1	1	2	2		4
P 21.24	3	3	2	2		
P 24.31						1
P 31.34	1	1			1	1
P 34.41			1	1	1	
P 41.44			1	2	3	1
P 14.24	5	1	1	2		
P 24.34					1	
P 34.44	1		1			
année 2						
P 1.2			2	2	6	4
P 2.3		1	7	5	3	
P 3.4	1	1	4	1	4	2
P 2.4		3				
Total	13	13	22	19	20	13

Annexe 9

Répartition des TP initiaux par classe de variation de TP.

Classe de variation initial (g/kg)	-1,5 à -1,0 g/kg	-1,0 à -0,5 g/kg	-0,5 à 0 g/kg	0 à +0,5 g/kg	+0,5 à +1,0 g/kg	+1,0 à +1,5 g/kg
≤ 28,0		2		3	4	3
28,0 à 29,0	3	1	5	9	9	4
29,0 à 30,0	4	2	11	3	6	4
> 30,0	6	8	6	4	1	3
Total	13	13	22	19	20	13

Annexe 10 : Matrice des corrélations établies entre les paramètres de composition physicochimique, les paramètres technologiques et les rendements fromagers des laits transformés en fin d'hiver

n = 10

Ne sont représentées que les corrélations significatives au seuil de 10%

	TB	TNPRO	TNCAS	MAC	CNPRO	PASCH	PBTCH	PGKCH	PALA	PBLGA	PBLGB	CA	NA	P	MG	PH	R	K20	LMIC	RFJ1	ESJ1	RSJ1	RFJ3	ESJ3	RSJ3	RFJ10	ESJ10	RSJ10	NTFSE	MGFSE
TB	1.000																													
TNPRO		1.000																												
TNCAS			0.898	1.000																										
MAC				0.960	0.782	1.000																								
CNPRO												1.000																		
PASCH													1.000																	
PBTCH																														
PGKCH																														
PALA																														
PBLGA																														
PBLGB																														
CA																														
NA																														
P																														
MG																														
PH																														
R																														
K20																														
LMIC																														
RFJ1																														
ESJ1																														
RSJ1																														
RFJ3																														
ESJ3																														
RSJ3																														
RFJ10																														
ESJ10																														
RSJ10																														
NTFSE																														
MGFSE																														

Seuil signification

5% n > 0,58

1% n > 0,71

