

# *Construire la matrice fromagère : entre performance et qualité*

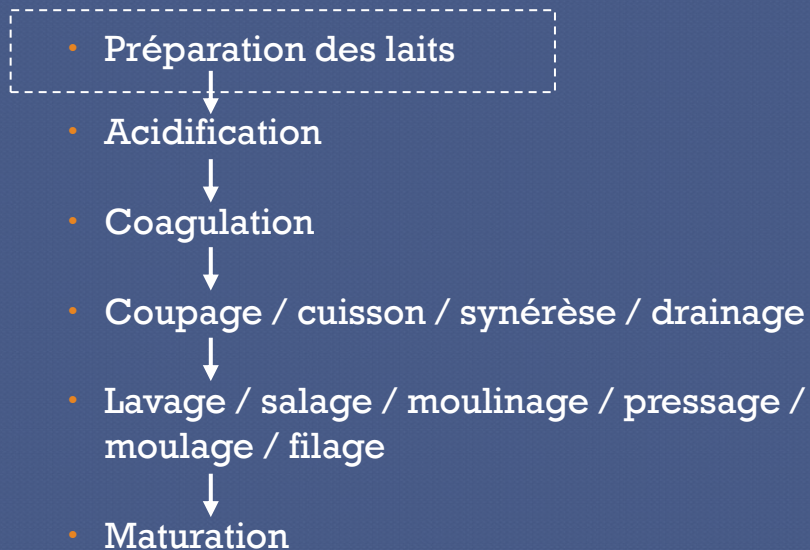
*Causerie fromagère  
Centre d'expertise fromagère du Québec (CEFQ)  
17 octobre 2023*

*Michel Britten  
Chercheur retraité  
CRD – Saint-Hyacinthe*



## ○ Construire la matrice du fromage

### • Les étapes:



*Composition*  
*Texture*  
*Saveur*  
*Fonctionnalité*

↑ *Rendement*

↑ *Constance*

## ○ Préparation des laits fromagers

- **Standardisation des composantes**
  - Composition cible du fromage
- **Utilisation de laits concentrés**
  - UF / MF / OI
  - MPC, MPI
- **Chauffage du lait**
  - Dénaturation des protéines sériques
  - WPC dénaturé
- **Traitements mécaniques**
  - Homogénéisation



# 1. Standardisation des composantes

## ○ Composantes du fromage

- **Gras**
- **Protéines**
- **Autres solides** (*sucre résiduels, acides organiques, minéraux, etc.*)
- **Eau**

Normes de composition  
Texture  
Fonctionnalité  
Constance

# 1. Standardisation des composantes

## ○ Ajustement du ratio protéine/gras (P/G)

$$P/G_{LAIT} \neq P/G_{FROMAGE} \quad \longrightarrow \quad P/G_{LAIT} = P/G_{FROMAGE} \cdot \frac{R_{gras}}{R_{prot}}$$

### • Rétention des composantes

#### • Protéines

- Caséine ( $R_{cas} \sim 0.95$ )
- Protéines sériques natives (PSN)
  - Rétention passive  $\rightarrow$  selon l'humidité du fromage ( $R_{PSN} \sim 0.03$  à  $0.06$ )
- Protéines sériques dénaturées (PSD)
  - Pasteurisation haute, ajout de WPC-dénaturé ( $R_{PSD} \sim 0.40$  à  $0.80$ )

$$R_{prot} = \frac{[Cas] \cdot R_{cas} + [PSN] \cdot R_{PSN} + [PSD] \cdot R_{PSD}}{PROT_{totale}}$$

#### • Gras

- ( $R_{gras} \sim 0.88$  à  $0.95$ )

# 1. Standardisation des composantes

## ○ Ajustement du ratio protéine/gras (P/G)

### • Exemples

- Lait non enrichi, non chauffé

	<i>Composition cible du fromage</i>				<i>Lait fromager</i>	
	%Protéine	%Gras	%Humidité	P/G <sub>Fromage</sub>	P/G <sub>Lait</sub>	%Gras
Cheddar	24.9	33.3	37.0	0.75	0.89	3.8
Mozzarella	25.1	21.0	49.8	1.20	1.43	2.3

- Lait + 0.6% protéines sériques dénaturées ( $R_{PSD} = 0.60$ )

	<i>Composition cible du fromage</i>				<i>Lait fromager</i>	
	%Protéine	%Gras	%Humidité	P/G <sub>Fromage</sub>	P/G <sub>Lait</sub>	%Gras
Cheddar	24.9	33.3	37.0	0.75	0.93	4.2
Mozzarella	25.1	21.0	49.8	1.20	1.48	2.6

### • Ajustement du taux de matière grasse

- Ajout lait écrémé / crème

## 2. Utilisation de laits concentrés

### ◉ Modes d'enrichissement

- Concentration du lait (UF, MF, OI)
- Utilisation de concentrés liquides ou déshydratés

### ◉ Objectifs

- ↑ Productivité (davantage de fromage par unité de production)
- Impact sur les rendements
  - ↑ Concentration de solides dans la phase aqueuse du fromage
    - Protéines sériques natives (UF et OI)
    - Lactose (OI)
  - ↑ Rétention des matières grasses
  - ↓ Humidité du fromage

## 2. Utilisation de laits concentrés

### ○ Minéralisation des laits enrichis

- « Gérer » le calcium micellaire
- La teneur en calcium micellaire ( $Ca_m$ ) des fromages est critique
  - Texture, propriétés de fonte

$Ca_m$  du lait ~ 31 mg/g caséine

↓  
Acidification

↓  
Solubilisation du  $Ca_m$

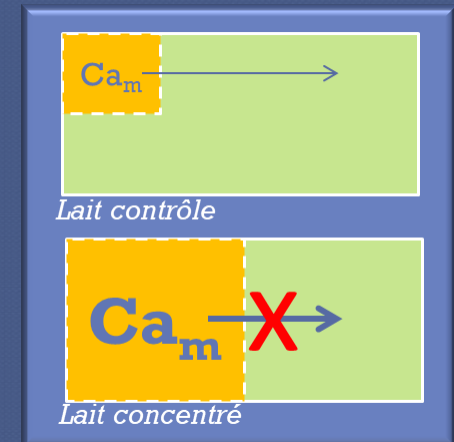
	$Ca_m$ mg/g caséine
Feta	1.7
Cottage	3.3
Roquefort	11.3
Camembert	13.3
Havarti	18.5
Cheddar	20.5
Mozzarella	21.0
Emmental	22.1
Gouda	24.0



## 2. Utilisation de laits concentrés

### ○ Minéralisation des laits enrichis

- Minéralisation excessive des fromages faits de laits enrichis
  - La solubilité du phosphate de calcium augmente avec la baisse de pH
  - Mais : Le volume de sérum disponible est insuffisant
- Correctifs
  - Déminéralisation en amont
    - Acidification du lait avant filtration – Filtration à froid – Diafiltration
  - Remise en question de l'ajout de  $\text{CaCl}_2$  au lait
  - Ajout d'ingrédients déminéralisés (ex.: caséinate de sodium)
  - Abaissement des pH d'emprésurage et de soutirage



### 3. Chauffage du lait

- Objectifs

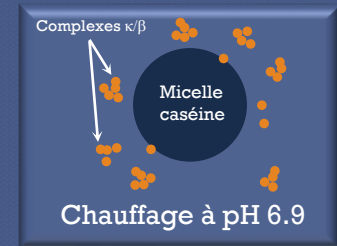
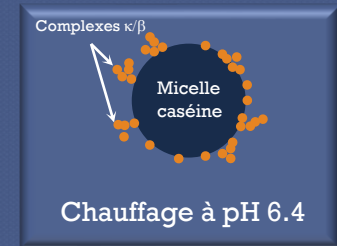
- Insolubiliser les protéines sériques
- Accroître leur rétention dans le fromage

- Mode de dénaturation

- Formation de complexes avec la caséine  $\kappa$ 
  - En surface des micelles de caséine
  - Complexes solubles

- Impacts selon la sévérité du traitement

- ↓ Coagulabilité
- ↑ Fragilité du caillé
- ↑ Humidité du fromage +++ (5.8 g d'eau/g protéine dénaturée)



*Effet du pH sur la localisation des complexes  $\kappa$ -CN/ $\beta$ -Lg formés pendant le chauffage du lait*

### ○ Alternative (1)

- Mélange lait chauffé + lait non-chauffé
  - Maintenir une portion suffisante de « caséine fonctionnelle »
  - Meilleur contrôle du taux de dénaturation et de rétention dans le fromage
  
- Impacts selon la proportion de lait chauffé
  - ↓ Coagulabilité
  - ↑ Fragilité du caillé
  - ↑ Humidité du fromage (6.1 g d'eau/g protéine dénaturée)

...à peu près similaire au lait chauffé

### ○ Alternative (2)

- **Dénaturation des concentrés (UF) de lactosérum**
  - Concentrés liquides, ou reconstitués
  - Production de microparticules
    - Retenues dans la matrice fromagère
  - **Préserve la fonctionnalité de la caséine**
    - $\neq 100\%$  → Réactivité des agrégats (thiols libres, plages hydrophobes)
- **Chauffage suivi d'une homogénéisation DOUCE** ( $3\mu\text{m} < \text{diamètre} < 6\mu\text{m}$ )
  - Les agrégats trop fins « contaminent » la surface des micelles de caséine emprésurées
- **Contrôle des conditions de dénaturation**
  - Concentration protéique, pH, profil thermique, [calcium], [lactose], etc.  
Influence → densité, taille, hydratation et la réactivité des agrégats

### ○ Alternative (2)

- Dénaturation des concentrés (UF) de lactosérum
  - Rétention dans la matrice de caséine
  - Taux de rétention variable (0.40 à 0.80)
    - Selon les conditions de dénaturation du WPC
  - Impacts selon la quantité ajoutée (moindres que le chauffage du lait)
    - ↓ Coagulabilité
    - ↑ Fragilité du caillé
    - ↑ Humidité du fromage (1.2g d'eau/g protéine dénaturée)



\*Maintenir le ratio  $\frac{[Caséine]}{[Gras]+[Protéines\ sériques\ dénaturées]} > \sim 0.6$

### ○ Homogénéisation du lait ou de la crème de standardisation

#### • Objectifs

- Accroître la rétention des matières grasses
  - Inactivation des lipases requise
    - pasteurisation immédiate après homogénéisation

#### • Principe

- Incorporation de caséine à la surface des globules gras
- Intégration des globules gras à la matrice de caséine
  - Inclusions « actives »

- Homogénéisation du lait ou de la crème de standardisation
  - Impacts
    - Augmentation de la rétention du gras (0.959 à 0.973)
    - Augmentation de l'humidité du fromage
    - Augmentation du rendement brut et ajusté pour l'humidité
    - Diminution de la fermeté des fromages (humidité)
    - Réduction de l'huile libre (fonte)

# Conclusions

- La préparation du lait fromager est une étape critique
  - Impact sur la composition, la qualité du fromage, et la rentabilité
- Importance de connaître/mesurer les taux de rétention des composantes du lait
  - Standardisation des laits fromagers selon les cibles de composition des fromages
  - Développement d'outils mathématiques
    - Prédiction du rendement fromager
    - Diagnostic et amélioration continue
- Importance d'ajuster les variables de procédé selon la composition du lait
  - Optimiser la déminéralisation en cours de procédé
  - Contrôler l'humidité du fromage





Merci de votre attention!

Questions...

DANS LE CADRE DU PROGRAMME

# LES CHANGEMENTS PHYSICO-CHIMIQUES DU LAIT LORS DE SA TRANSFORMATION

CEFR



ETAPE

1

Les bases de la  
physico-chimie du lait

ETAPE

2

La filtration membranaire  
et la standardisation du  
lait

**EN PRÉSENTIEL OU VIRTUEL**

DANS LE CADRE DU PROGRAMME

## LES CHANGEMENTS PHYSICO-CHIMIQUES DU LAIT LORS DE SA TRANSFORMATION

CEFR



ETAPE

1

### Les bases de la physico-chimie du lait

26 octobre 2023

Dr Michel Britten,  
consultant et  
chercheur retraité,  
AAC



## EN PRÉSENTIEL OU EN VIRTUEL

Ce programme de formation en physico-chimie du lait vise à développer les connaissances essentielles à la maîtrise des étapes déployées au quotidien dans les entreprises en transformation laitière.

Cette première étape vous permettra de :

- Bien comprendre les principaux changements physico-chimiques du lait au cours de sa transformation;
- Vous outiller afin de poser les bonnes actions au bon moment lors de la fabrication fromagère et par conséquent:
  - Éviter les pertes associées à des rendements déficients, des teneurs en eau et en matière grasse mal contrôlées, des défauts de texture ou une durée de vie écourtée
- Au final, obtenir un produit laitier répondant à votre objectif

#### 1. Introduction

- Les étapes de la transformation fromagère
- Les principaux changements physico-chimiques
- Les leviers de contrôle

#### 2. Caractéristiques, réactivité, importance et rôle des composantes du lait dans l'élaboration des fromages

- Les caséines
- Les minéraux
- Les matières grasses
- Les protéines solubles/sériques
- Le lactose
- L'eau

#### 3. Modifications physico-chimiques en cours de procédé

- La standardisation du lait
- La pasteurisation/thermisation
- L'acidification
- La coagulation
- Le coupage et la cuisson du caillé
- Le salage
- La cuisson extrusion

Pour vous inscrire

Format présentiel

Format virtuel

DANS LE CADRE DU PROGRAMME

## LES CHANGEMENTS PHYSICO-CHIMIQUES DU LAIT LORS DE SA TRANSFORMATION

CEFR



ETAPE

2

### La filtration membranaire et la standardisation du lait

6-7 février 2024

Avec la collaboration de Bruno Ducharme,  
Paralel Agréalimentaire inc.



Dr Yves Pouliot,  
consultant et  
chercheur  
retraité,  
Université Laval



Dr Julien Chamberland,  
professeur  
adjoint,  
Université Laval

## EN PRÉSENTIEL OU EN VIRTUEL

L'utilisation des procédés de séparation par membranes connaît un essor important au sein des usines de fabrication fromagère en raison de leurs applications diversifiées et pour leur contribution à l'amélioration de l'éco-efficience des usines. Bien que la technologie derrière les séparations par membranes soit relativement simple, plusieurs questions en lien avec l'opération des systèmes, le design des procédés, leur optimisation et l'encrassement nécessitent une expertise spécifique.

D'une durée de **2 jours**, cette **seconde** étape de notre programme de formation en physico-chimie du lait est principalement axée sur la filtration membranaire et la standardisation du lait. L'activité débute par une formation théorique suivie de 3 ateliers sur des problématiques associées à l'utilisation de systèmes membranaires (études de cas).

#### Les ateliers

2

Prédire les performances, les bilans de matière et les coûts de procédés de séparation par membranes (2h)

La prédiction des performances et le calcul des coûts d'opération des procédés de séparation par membranes constituent des éléments-clé dans la décision d'investir dans cette technologie.

Cet atelier permettra aux participants de se familiariser avec de tels calculs.

- Principes de base sur le dimensionnement des systèmes
- Prédiction de la consommation d'eau et d'énergie

#### La théorie

1

Principes de base en séparation par membranes utilisés en industrie fromagère et présentation du guide d'utilisation des systèmes de filtration industriels

Durée : 3 h

3

Maîtriser l'encrassement des membranes (3h)

Les phénomènes menant à l'encrassement à long terme des membranes sont complexes et différents selon les conditions opératoires, selon le fluide à traiter, et aussi selon les opérations de gestion et de lavage des systèmes de filtration. Les approches permettront de limiter l'encrassement des membranes et de maintenir leurs performances à long terme seront discutées à partir d'études de cas.

Cet atelier permettra aux participants de se développer une grille d'aide à la décision permettant de solutionner diverses problématiques d'encrassement.

4

Utilisation des concentrés issus des séparations membranaires en fromagerie (3h)

La composition et les propriétés fromagères des concentrés produits par séparations par membranes différeront selon que le lait aura été concentré par ultrafiltration ou microfiltration. De plus, un outil (de type feuille de calcul) pour la standardisation/enrichissement des laits de fromagerie sera utilisé lors exercices pratiques. D'autre part, chacune de ces séparations génèrera un coproduit (perméat) qui constituera une problématique en ce qui concerne son utilisation ou élimination (disposal). Les participants seront amenés à réfléchir sur ces questions à partir de cas pratiques.

#### Pour vous inscrire

[Format virtuel](#)

[Format présentiel](#)



PARALEL  
Agréalimentaire inc.



### La coagulation du lait



UNIVERSITÉ  
LAVAL

- 20-21 mai 2024
- Formation pratique, en présentiel à l'Université Laval
- Formateur invité (à préciser) et Dr Julien Chamberland, Université Laval

### ETAPE 3

#### ETAPE 3

La maîtrise de cette étape de la fabrication fromagère vous permettra d'acquérir la constance essentielle au contrôle de la composition et de la qualité de votre fromage. La variabilité saisonnière, l'alimentation des animaux ou autres conditions à la ferme, les prétraitements physiques du lait, la standardisation ou l'enrichissement avec différents intrants laitiers sont tous des facteurs nécessitant une adaptation lors de la coagulation. Cette formation de l'Université Laval vous dotera des éléments théoriques et pratiques essentiels à l'adaptation de la coagulation visant à obtenir un produit fini constant avec des rendements optimaux, et ce peu importe les variations de la matière première utilisée.

\*\*\*Avoir suivi l'étape 1 et 2 (si vous travaillez avec des laits standardisés) de ce programme est recommandé.



# CAUSERIE FROMAGÈRE

14 novembre 23

De 14h00-15h30

**Impacts et complexité des bioaérosols :  
cas pratiques sur nos fermes laitières**

Caroline Duchaine, PhD, titulaire de la chaire de  
recherche du Canada sur les bioaérosols  
Université Laval



CEFRQ

