

## Transformations liées à la formation du fromage

Grands amateurs de fromage, nous nous sommes intéressés à son processus de formation et nous avons choisi d'explorer la coagulation du lait pour comprendre les transformations chimiques qui participent à son obtention. Ce sujet allie science et cuisine, et nous voulons approfondir nos connaissances dans ces domaines.

Ce sujet s'intègre particulièrement au thème proposé, car la coagulation du lait en caillé implique plusieurs transformations chimiques, notamment la conversion du lactose présent dans le lait en acide lactique.

**Ce TIPE fait l'objet d'un travail de groupe.**

**Liste des membres du groupe :**

- *BELKAID Alenas*

**Positionnement thématique (ÉTAPE 1) :**

- *CHIMIE (Chimie Organique)*

- *CHIMIE (Chimie Inorganique)*

**Mots-clés (ÉTAPE 1) :**

**Mots-clés (en français)**

*Fromage de chèvre*

*Acidification du lait*

*Acide lactique*

*Caséine*

*Influence de la*

*température*

**Mots-clés (en anglais)**

*Goat Cheese*

*Acidification of milk*

*Lactic acid*

*Casein*

*Influence of temperature*

**Bibliographie commentée**

Les premières traces de fromage remontent à près de 7000 ans : des restes de poteries ayant servi à égoutter des caillés laitiers ont été retrouvés en Turquie.

La fabrication du fromage comprend plusieurs étapes dont la première est la coagulation. Cette étape initiale implique la formation d'un caillé par fermentation du lait, processus au cours duquel des ferments transforment le lactose en acide lactique. Pour cela, le lactose présent dans le lait est d'abord hydrolysé en glucose et en galactose par une molécule spécifique des bactéries utilisées avant d'être transformé en acide lactique par la dégradation de ces monosaccharides en pyruvate [1]. La maîtrise de cette étape est cruciale, car elle détermine les caractéristiques physico-chimiques du fromage final, influençant ainsi sa texture [2]. De plus, cette étape influe sur le rendement du caillé qui est déterminé par rapport à la quantité de lactosérum produite, autrement dit la partie résiduelle issue de la coagulation du lait.

Un autre enjeu majeur dans la fabrication du fromage, notamment dans le cas du fromage de chèvre non affiné, est la durée du processus. La production de ce type de fromage prend environ cinq jours, la fermentation lactique représentant environ un quart de ce temps. Notre étude s'intéresse particulièrement à l'optimisation de la coagulation du lait de chèvre, qui doit présenter une acidité naturelle initiale de 12 à 16 degrés Dornic, chaque Dornic correspondant à 0,1 gramme d'acide lactique par litre. Cette acidité de départ est essentielle pour permettre la formation d'agrégats de caséine, étape déterminante dans la création d'un caillé solide lors de l'ajout de bactéries lactiques [5].

La caséine, protéine majoritaire du lait (présente en quantité de 18 à 26 grammes par litre dans le lait de chèvre), est l'élément fondamental de la coagulation. En grande quantité, ces protéines s'assemblent pour former des micelles, qui sont sensibles aux modifications de pH engendrées par la fermentation lactique [6]. Dans le cas du lait de chèvre, les micelles de caséine perdent leur stabilité à partir de pH 4.6 et commencent à s'agréger. Elles forment alors un réseau tridimensionnel dense, piégeant l'eau et les particules de lait, créant ainsi une structure gélifiée que l'on appelle le caillé [1,4] : l'acide lactique formée lors de l'ajout des ferments permet l'abaissement du pH et donc l'action de la caséine sur le milieu. Un des enjeux est alors de doser de la bonne manière la quantité de ferments lactiques introduite dans le lait, de telle sorte à atteindre une concentration en acide lactique permettant d'atteindre le pH souhaité.

Le contrôle de la température représente également un point important à respecter afin d'obtenir un caillé conforme aux attentes, c'est-à-dire apte à aboutir à un fromage de type commercial. En effet, à une température trop basse l'agrégation des micelles peut être limitée rendant ainsi le caillé moins dense et plus fragile tandis qu'à une température trop élevée ces mêmes micelles ont tendance à se regrouper plus rapidement donnant un caillé plus ferme [2,3]. De plus, la température à laquelle fermente le lait doit être calibrée par rapport à la quantité de ferments lactiques introduite dans celui-ci.

Pour juger du caillé lactique conçu, il faut comparer ses caractéristiques à un caillé utilisé dans le commerce pour produire du fromage de chèvre non affiné. Il doit comporter un degré Dornic compris entre 50 et 65 et un pH autour de 4.5 tout en tenant compte de sa texture

[2].

## Problématique retenue

Quels sont les paramètres optimaux pour former un caillé lactique de manière rapide tout en respectant les normes et caractéristiques nécessaires à la formation d'un fromage de chèvre ?

## Objectifs du TIPE du candidat

- Analyser les mécanismes chimiques liés à la fermentation du lait.
- Mesure du degré Dornic du lait ainsi que sa quantité de caséine.
- Déterminer la quantité de ferments lactiques à introduire dans le lait pour aboutir à un caillé dont l'acidité est comprise entre 50°D et 65°D (de pH entre 4,2 et 4,6).
- Déterminer l'influence de la température sur l'acidification du lait.
- Déterminer l'influence de la caséine et des minéraux sur les caractéristiques physiques du fromage.
- Conclure quant à la composition du caillé final.
- Comparer les résultats avec un fromage de chèvre commercial.

## Références bibliographiques (ÉTAPE 1)

- [1] PATRICK F. FOX, TIMOTHY P. GUINEE : Fundamentals of Cheese Science
- [2] COLINE SABIK : Influence de la température de caillage sur l'acidification et la qualité des fromages lactiques de chèvre : <https://mrepaca.fr/wp-content/uploads/2021/10/Influence-de-la-temperature-de-caillage.pdf>
- [3] PATRICK F. FOXPAUL, L.H. MCSWEENEY : Cheese: Chemistry, Physics and Microbiology
- [4] S. K. KON : Le lait et les produits laitiers dans la nutrition humaine
- [5] PATRICK F. FOX ET PAUL L.H. MCSWEENEY : Advanced Dairy Chemistry - Proteins
- [6] ANSES : Composition du lait de chèvre : <https://fermiers.terredeschèvres.fr/Composition>