

Effet des traitements thermiques sur les propriétés physico-chimiques, texturales et organoleptiques du fromage lactique affiné obtenu à partir de lait de chèvre

Auteur : Penasse, Loïs

Promoteur(s) : Ayadi, Mohamed

Faculté : Gembloux Agro-Bio Tech (GxABT)

Diplôme : Master en bioingénieur : sciences agronomiques, à finalité spécialisée

Année académique : 2023-2024

URI/URL : <http://hdl.handle.net/2268.2/19435>

Avertissement à l'attention des usagers :

Tous les documents placés en accès ouvert sur le site le site MatheO sont protégés par le droit d'auteur. Conformément aux principes énoncés par la "Budapest Open Access Initiative"(BOAI, 2002), l'utilisateur du site peut lire, télécharger, copier, transmettre, imprimer, chercher ou faire un lien vers le texte intégral de ces documents, les disséquer pour les indexer, s'en servir de données pour un logiciel, ou s'en servir à toute autre fin légale (ou prévue par la réglementation relative au droit d'auteur). Toute utilisation du document à des fins commerciales est strictement interdite.

Par ailleurs, l'utilisateur s'engage à respecter les droits moraux de l'auteur, principalement le droit à l'intégrité de l'oeuvre et le droit de paternité et ce dans toute utilisation que l'utilisateur entreprend. Ainsi, à titre d'exemple, lorsqu'il reproduira un document par extrait ou dans son intégralité, l'utilisateur citera de manière complète les sources telles que mentionnées ci-dessus. Toute utilisation non explicitement autorisée ci-avant (telle que par exemple, la modification du document ou son résumé) nécessite l'autorisation préalable et expresse des auteurs ou de leurs ayants droit.

EFFET DES TRAITEMENTS THERMIQUES SUR LES PROPRIETES PHYSICO-CHIMIQUES, TEXTURALES ET ORGANOLEPTIQUES DU FROMAGE LACTIQUE AFFINE OBTENU A PARTIR DE LAIT DE CHEVRE

LOÏS PENASSE

**TRAVAIL DE FIN D'ETUDES PRESENTE EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE
MASTER BIOINGENIEUR EN SCIENCES AGRONOMIQUES**

ANNEE ACADEMIQUE 2023-2024

PROMOTEUR : MOHAMED AYADI

© Toute reproduction du présent document, par quelque procédé que ce soit, ne peut être réalisée qu'avec l'autorisation de l'auteur et de l'autorité académique de Gembloux Agro-Bio Tech. Le présent document n'engage que son auteur.

EFFET DES TRAITEMENTS THERMIQUES SUR LES PROPRIETES PHYSICO-CHIMIQUES, TEXTURALES ET ORGANOLEPTIQUES DU FROMAGE LACTIQUE AFFINE OBTENU A PARTIR DE LAIT DE CHEVRE

LOÏS PENASSE

**TRAVAIL DE FIN D'ETUDES PRESENTE EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE
MASTER BIOINGENIEUR EN SCIENCES AGRONOMIQUES**

ANNEE ACADEMIQUE 2023-2024

PROMOTEUR : MOHAMED AYADI

Remerciements

Ce travail n'aurait pas été possible sans l'aide d'une série de personnes que je tiens à remercier.

Je tiens tout d'abord à remercier le Professeur Mohamed Ayadi, mon promoteur, pour ses précieux conseils et pour m'avoir accueillie dans le Laboratoire de Qualité et Sécurité des Produits Agro-alimentaires.

Merci à Nelly et à Thomas pour leur disponibilité permanente et leur aide au cours de ces six mois passés au laboratoire. Merci à Franck pour son encadrement avec le spectromètre de masse et à Adrien avec le texturomètre.

Merci à l'ensemble de l'équipe de Diversiferm pour leurs conseils avisés et leur disponibilité.

Merci aux Laboratoires de Sciences & Technologies Alimentaires de l'Institut Meurice de Bruxelles, de Microbiologie des aliments du Département des Sciences des Denrées alimentaires de la Faculté de Médecine Vétérinaire de l'Université de Liège ainsi qu'au Laboratoire de Morphologie fonctionnelle et évolutive du Département de Biologie, Ecologie et Evolution de la Faculté des Sciences de l'Université de Liège pour l'encadrement fourni lors des différentes analyses.

Merci au Professeur Hélène Soyeurt ainsi qu'à Monsieur Clément Martin pour leurs conseils vis-à-vis des analyses statistiques.

Merci au personnel du Laboratoire de « Chemistry for Sustainable Food and Environmental Systems » de m'avoir chaleureusement accueillie pendant tous ces temps de midi.

Merci à mes marraines les bonnes fées, Ghislaine et Danielle pour les relectures de ces derniers jours et le soutien que vous m'apportez au quotidien.

Merci à Gaëlle, nous avons commencé nos études ensemble, autour d'une dissection, et la finissons autour de ce travail de fin d'études. Ton aide m'a été très précieuse dans cet environnement de chimiste qui m'était étranger.

Merci à mes parents pour leur précieux soutien moral, leur présence et leurs encouragements, particulièrement durant ces années d'études. Je ne serais pas arrivée jusque-là sans eux. Merci également de m'avoir transmis la passion de l'agriculture ainsi que leurs valeurs.

Pour finir merci à Rémy pour ta patience, merci de m'avoir épaulée et de m'offrir le cadre dont j'ai besoin pour m'épanouir, merci d'être là et d'être toi.

Résumé

Ce travail a pour but d'étudier l'effet des traitements thermiques du lait sur les propriétés physico-chimiques, texturales et organoleptiques du fromage lactique affiné obtenu à partir de lait de chèvre. Quatre types de protocoles ont été appliqués aux différents lots de lait : la pasteurisation, la thermisation, l'absence de traitement thermique et la réfrigération du lait pendant une nuit. Les caractéristiques physico-chimiques, la texture, la couleur, les composés organiques volatils ainsi que la flore bactérienne des fromage produits à partir de ces différents protocoles appliqués au lait ont été analysés. Afin de consolider les observations, une dégustation en profil flash a également été effectuée.

Le fromage fabriqué à partir de lait ayant passé une nuit au réfrigérateur est le fromage comportant le plus de risque au niveau de la sécurité alimentaire, c'est le fromage le moins élastique, le plus tranchable et le plus jaune. C'est également le seul qui dégage du sulfure de diméthyle, un composé sentant le chou cuit, l'ail et le soufre.

Le fromage de chèvre au lait pasteurisé est le fromage comportant le moins de risque au niveau de la sécurité alimentaire. C'est le fromage le plus typé en termes de gout de chèvre et de longueur en bouche.

Les fromages au lait cru sans réfrigération et au lait thermisé ont des caractéristiques intermédiaires aux deux autres. Le fromage au lait cru sans réfrigération possède une intercroute et une croute moins adhérentes. Le fromage au lait thermisé ne possède pas ou peu d'intercroute et sa croute adhère très bien.

Le choix du type de traitement thermique ne s'opère pas uniquement sur base des qualités organoleptiques du fromage produit. Un traitement thermique à température élevée ainsi qu'un refroidissement engendrera des coûts au niveau de l'exploitation. La législation et le type de clientèle peuvent aussi influencer en faveur ou non de la pasteurisation.

Abstract

The purpose of this study is to investigate the effect of heat treatments on milk on the physicochemical, textural, and organoleptic properties of aged lactic cheese obtained from goat milk. Four types of protocols were applied to different batches of milk: pasteurization, thermization, no heat treatment, and refrigeration of the milk overnight. The physicochemical characteristics, texture, volatile organic compounds, and bacterial flora of the cheese produced from these batches of milk were analyzed. To consolidate the observations, a flash profile tasting was also conducted.

The cheese made from milk refrigerated overnight poses the highest food safety risk. It is the least elastic, most sliceable, and has a more yellow color. It is also the only one that releases dimethyl sulfide, a compound with a smell reminiscent of cooked cabbage, garlic, and sulfur.

Goat cheese made from pasteurized milk poses the lowest food safety risk. It has the most distinctive goat taste and a longer aftertaste.

Cheeses made from raw milk without refrigeration and thermized milk have intermediate characteristics between the other two. The raw milk cheese without refrigeration has a less adherent intercrust and crust. The thermized milk cheese has little or no intercrust and a well-adhering crust.

The choice of the type of heat treatment is not solely based on the organoleptic qualities of the produced cheese. High-temperature heat treatment and subsequent cooling incur operational costs. Legislation and the type of clientele may also influence the preference for or against pasteurization.

Table des figures

Figure 1 : "INTERRELATIONS BETWEEN FACTORS INFLUENCING MILK COMPOSITION" (Morand-Fehr et al., 1991)	12
Figure 2 : "Example of the physical ranking of the samples along one sensory attribute and of its transcription onto a form." (Varela et al., 2014)	23
Figure 3 : Evolution de la quantité de matière grasse, de protéine et de lactose au fil des semaines. Le n est égal à 17.....	26
Figure 4 : Photo des fromages. Sur la première ligne les fromages frais issus du lot de lait 5 et sur la seconde ligne les fromages affinés du lot de lait 3. Dans la première colonne les FF, la deuxième les FC, la troisième les FT et la dernière les FP.....	28
Figure 5 : ACP des données liées au fromage. En bleu les fromages frais et en rouge les fromages affinés.....	31
Figure 6 : Histogramme des distances de Mahalanobis standardisées des données liées aux fromages frais et affinés	32
Figure 7 : Histogramme des distances de Mahalanobis standardisées des données liées aux fromages affinés.....	32
Figure 8 : Box Plot de la variabilité de l'indice de jaunissement du fromage en fonction du traitement thermique du lait. Le n est égal à 6 pour chaque traitement thermique.	33
Figure 9 : Box Plot de la variabilité de l'élasticité (springness (mm)) du fromage en fonction du traitement thermique du lait. Le n est égal à 6 pour chaque traitement thermique.....	34
Figure 10 : Graphique des proportions relatives de chaque embranchement des bactéries contenues dans le lait du lot 3 (n=2)	35

Table des tableaux

Tableau 1 : « Présentation comparative de composition brute et de paramètres particuliers des fractions protéiques, azotées et minérales du lait de chèvre et de vache » (Moatsou, 2023)	11
Tableau 2 : Tableau de comparaison entre les deux polymorphismes extrêmes de la caséine α_1 observés dans le lait de chèvre (Remeuf, 1993; Tziboula, 1997; Moatsou, 2023)	12
Tableau 3: Température de croissance optimale des différents catégories de bactéries thermophiles (Bajpai, 2023).....	14
Tableau 4 : Paramètres mesurés par le Lactoscan accompagnés de leur valeur de précision.....	18
Tableau 5 : Récapitulatif des moyennes, écart-types, écart-types relatif (RSD) des différentes caractéristiques physico-chimiques du lait obtenues grâce au Lactoscan. Le n du lot 1 est égale à 2 et le n des autres lots est égale à 3. 4 chiffres après la virgule ont été conservés.....	25
Tableau 6 : Résultats des tests de Brown-Forsythe et des ANOVA à 1 facteur sur les données des caractéristiques physico-chimiques du lait de chèvre. Le n est égal à 17.	26
Tableau 7 : Récapitulatif des moyennes, écart-types, écart-types relatifs (RSD) de l'acidité de Dornic et du pH du lait. Le n est égal à 3.	27
Tableau 8 : Récapitulatif des moyennes, écart-types, écart-types relatifs (RSD) des différentes caractéristiques physico-chimiques, des données de texture et de couleur du fromage frais et affiné en fonction du traitement thermique appliqué. Le n est égal à 4 pour la variable « lot », à 6 pour la variable « traitement thermique » et à 1 pour l'interaction « traitement thermique » et « lot ».....	29
Tableau 9 : Récapitulatif des moyennes, écart-types, écart-types relatifs (RSD) du pourcentage de protéine, de matière grasse et de cendre du fromage frais et affiné en fonction du traitement thermique appliqué. Pour le facteur protéine, n est égal à 12 pour la variable « lot », à 18 pour la variable « traitement thermique » et à 3 pour l'interaction « traitement thermique » et « lot ». Pour	

les facteurs MG et Cendre, les n sont égaux à 8 pour la variable « lot », à 12 pour la variable « traitement thermique » et à 2 pour l'interaction « traitement thermique » et « lot ».	30
Tableau 10 : Tableau rassemblant les résultats des différentes p-valeur des ANOVA 2 facteurs croisés sur les données des fromages affinés	33
Tableau 11 : Tableau des présences relatives des bactéries contenues dans le lait du lot 3, seules les données relatives aux individus présentant une fréquence de présence supérieure à 0,5 % ont été illustrées dans le tableau. Le n est égal à 2 et les données de présence relative sont les moyennes de ces 2 répétitions de protocole	36
Tableau 12 : Tableau des présences relatives des bactéries contenues dans les fromages de chaque type de traitement thermique du lot 3, le n est égal à 2 et les données de présence relative sont les moyennes de ces 2 répétitions de protocole	38
Tableau 13 : Tableau des moyennes, écart-types et RSD des composés volatils présents dans les différents types de fromage (n=2). Les valeurs sont des aires sous la courbe, exprimées en UA (unité arbitraire).	40
Tableau 14 : Log en base 10 des moyennes (n=2) des composés volatils présents dans les différents types de fromages (n=2). Les valeurs sont des aires sous la courbe UA (Unité Arbitraire).	41
Tableau 15 : Tableau des résultats de dégustation concernant le descripteur "Tranchabilité". Dans la colonne de gauche le numéro de la cabine et dans la colonne de droite correspondante, la note attribuée par le paneliste pour le fromage correspondant.	44
Tableau 16 : Tableaux des résultats de dégustation concernant les descripteurs « Adhérence de la croûte » et présence d'intercroûte ». Dans la colonne de gauche le numéro de la cabine et dans la colonne de droite correspondante, la note attribuée par le paneliste correspondant.	44
Tableau 17 : Tableau des résultats de dégustation concernant le descripteur "Couleur". Dans la colonne de gauche le numéro de la cabine et dans la colonne de droite correspondante, la note attribuée par le paneliste correspondant.	45
Tableau 18 : Tableaux des résultats de dégustation concernant les descripteurs « Odeur chèvre » et « Longueur en bouche ». Dans la colonne de gauche le numéro de la cabine et dans la colonne de droite correspondante, la note attribuée par le paneliste correspondant.	45

Table des matières

Remerciements	1
Résumé	2
Abstract.....	2
Table des figures	3
Table des tableaux	3
Liste des abréviations.....	8
1. Introduction	9
2. Etude bibliographique.....	9
A. Le lait et ses traitements thermiques	9
B. La composition du lait de chèvre	11
C. Facteurs influençant la production de lait de chèvre	12
D. La microbiologie du lait.....	13
Les bactéries thermophiles, mésophiles et psychrotrophes	13
Les <i>Salmonella</i>	14
<i>Listeria monocytogenes</i>	14
<i>Staphylococcus aureus</i>	14
<i>Escherichia coli</i>	15
Les bactéries du genre <i>Brucella</i>	15
Les mycobactéries.....	15
E. Le secteur laitier caprin belge	15
F. Le fromage lactique affiné à croûte fleurie et le matériel biologique utilisé pour sa fabrication 15	
Le fromage lactique affiné à croûte fleurie.....	15
<i>Penicillium candidum</i>	16
Geotrichum candidum sp.....	16
Flora Danica	16
Présure chevrette – BERTHELOT®	16
3. Matériel et méthode.....	16
3.1. Production du lait.....	16
3.2. Transformation du lait	17
3.3. Utilisation du Lactoscan pour la mesure des paramètres physico-chimiques du lait	18
3.4. Mesure de l'acidité de Dornic du lait et du PH	18
3.5. Test d'antibiotiques MilkSafe™ 3BTS.....	18
3.6. Mesure du pourcentage de matière grasse du fromage	19
3.7. Mesure de la quantité de cendre du fromage	19

3.8.	Dosage de l'azote total et calcul de la teneur en protéines du fromage.....	20
	Préparation de l'échantillon	20
	Préparation du blanc.....	20
	Préparation du témoin de minéralisation.....	20
	Minéralisation	20
	Distillation et titrage	20
3.9.	Evaluation de la texture	21
3.10.	Evaluation de la couleur du fromage	21
3.11.	Analyses métagénétiques	21
	3.11.1. Extraction de l'ADN création de séquençage et séquençage	21
	3.11.2. Analyse métagénétique	22
	3.11.3. Analyse écologique et statistique	22
3.12.	Dégustation – Profil Flash	22
3.13.	GC MS.....	24
3.14.	Analyses statistiques	24
	3.14.1. Caractéristiques physico-chimiques du lait	24
	3.14.2. L'analyse en composante principale, distance de Mahalanobis standardisée et déttection des valeurs aberrantes	25
4.	Résultats.....	25
4.1.	Paramètres physico-chimiques du lait.....	25
	4.1.1. Résultats liés au Lactoscan.....	25
	4.1.2. Présence d'antibiotique, pH et de l'acidité de Dornic	27
4.2.	Paramètres physico chimiques du fromage et sa texture	28
	4.2.1. Analyse en composante principale, distance de Mahalanobis standardisée et détection des valeurs aberrantes.....	31
	4.2.2. Anova 2 facteurs croisés sur les données des fromages affinés.....	32
4.3.	Analyse métagénétique	35
	4.3.1. La flore du lait de chèvre.....	35
	4.3.2. La flore du fromage.....	37
4.4.	Analyse des composés volatils.....	39
4.5.	Dégustation en profil flash.....	43
5.	Description de la contribution personnelle de l'étudiant.....	46
6.	Approfondissement	46
7.	Conclusion.....	46
8.	Bibliographie	48
9.	Annexes.....	53

9.1.	Code R pour l'analyse en composante principale, distance de Mahalanobis standardisée et détection des valeurs aberrantes effectuée sur les données des caractéristiques du fromage	53
9.2.	Chromatogrammes	56
9.2.1.	Profil chromatographique global du FAF3	56
9.2.2.	Profil chromatographique global du FAC3	57
9.2.3.	Profil chromatographique global du FAT3	58
9.2.4.	Profil chromatographique global du FAP3	59
9.3.	Résultats de la dégustation en profil flash.....	59

Liste des abréviations

PC = *Penicillium Candidum sp*

TT = Traitement thermique

GC = *Geotrichum candidum sp*

FD = Flora Danica

FF = fromage provenant de l'échantillon de lait ayant été refroidi une nuit avant son emprésurage

FC = fromage provenant du lot de lait ayant été emprésuré dès son arrivée au laboratoire

FT = fromage provenant du lot de lait ayant été emprésuré après avoir subi le processus de thermisation

FP = fromage provenant du lot de lait ayant été emprésuré après avoir subi le processus de pasteurisation

EC = *Escherichia coli*

SNF = solides non gras

QSPA = Qualité et Sécurité des Produits Agro-Alimentaires

ANOVA = Analyse de la variance

UA = Unité arbitraire

ADN = Acide Désoxyribonucléique

AW = Activité de l'eau

RSD = Relative Standard Deviation - l'écart-type relatif

OAV = Valeur d'activité olfactive

1. Introduction

Le circuit court, en particulier dans le contexte de la Wallonie, occupe une place de plus en plus importante dans l'économie des exploitations, mettant en avant des produits du terroir tels que le fromage de chèvre. Ce travail explore l'influence des traitements thermiques sur les propriétés physico-chimiques, texturales et organoleptiques du fromage lactique affiné, produit à partir du lait de chèvre.

Le choix de la filière du fromage de chèvre s'inscrit dans une perspective de circuit court, mettant en lumière la valorisation des produits locaux et le lien direct entre le producteur et le consommateur. En Wallonie, la qualité et la diversité des produits régionaux font partie des grandes fiertés du monde agricole. Il convient de souligner que ce travail s'insère spécifiquement dans le contexte de la production à la ferme, distinguant ainsi notre étude des approches industrielles. En effet en Wallonie, le lait de chèvre est majoritairement transformé au sein des exploitations agricoles, ajoutant une dimension artisanale et locale à la production fromagère.

Au-delà de la dimension culturelle et économique, notre étude se penche sur une problématique cruciale pour la production fromagère : les traitements thermiques du lait. En particulier, la question de la pasteurisation soulève des interrogations récurrentes dans le processus de fabrication du fromage de chèvre. L'objectif de ce travail est d'évaluer l'impact de ces traitements thermiques sur les qualités organoleptiques du fromage, produit transformé valorisable par le producteur et élément essentiel de l'expérience gustative du consommateur.

Cette réflexion revêt une importance particulière dans le paysage actuel, où les consommateurs sont de plus en plus attentifs à l'origine des produits qu'ils consomment, à leur mode de production et à leur impact sur la santé et l'environnement. De plus, le fromage de chèvre se révèle être une alternative prisée par les personnes allergiques au lait de vache, amplifiant ainsi sa pertinence dans le contexte alimentaire actuel (Guo et al., 2004; Lajnaf et al., 2023).

Enfin, les implications économiques des traitements thermiques, tant du point de vue des coûts de production que de l'aspect commercial seront abordées. En scrutant les différentes facettes de cette problématique, cette étude vise à apporter des réponses et des solutions aux acteurs de la filière fromagère, tout en contribuant à renforcer la réputation et la durabilité des produits locaux wallons.

2. Etude bibliographique

A. Le lait et ses traitements thermiques

Le lait peut subir différents traitements thermiques : la thermisation, la pasteurisation et la stérilisation. Ces différents traitements thermiques permettent de diminuer la charge microbiologique du lait et d'obtenir une meilleure sécurité alimentaire.

Le parlement Européen définit le lait cru comme suit : « le lait produit par la sécrétion de la glande mammaire d'animaux d'élevage et non chauffé à plus de 40°C, ni soumis à un traitement d'effet équivalent » (*Règlement (CE) n° 853/2004 du Parlement européen et du Conseil du 29 avril 2004 fixant des règles spécifiques d'hygiène applicables aux denrées alimentaires d'origine animale*, 2004)).

Le gouvernement français définit le lait thermisé comme suit : « lait chauffé à une température supérieure à 40 °C et inférieure à 72 °C pendant au moins quinze secondes ; le lait thermisé présente une réaction positive au test de la phosphatase » ("Article 14 - Décret n°2007-628 du 27 avril 2007 relatif aux fromages et spécialités fromagères - Légifrance," July-31-2023).

Le test de phosphatase alcaline sert à déterminer si le lait a été pasteurisé correctement grâce à la sensibilité thermique de l'enzyme. Le lait thermisé contient moins de bactéries pathogènes que le lait cru mais plus que le lait pasteurisé (Bajpai, 2023) . L'objectif de la thermisation du lait est d'assurer une meilleure sécurité alimentaire tout en conservant une plus grande partie de son identité (Borba et al., 2014).

La pasteurisation est « un procédé thermique microbiocide visant à réduire à un niveau qui ne présente pas de danger important pour la santé le nombre de micro-organismes pathogènes, s'ils sont présents, dans le lait et les produits laitiers liquides. Les conditions propres à la pasteurisation visent à détruire de manière efficace les organismes *Mycobacterium tuberculosis* et *Coxiella burnettii* » (FAO et al., 2011).

La stérilisation du lait est un procédé industriel de conservation du lait. Elle inactive tous les microorganismes du lait afin de pouvoir le conserver à température ambiante pour une longue période (Hinrichs et al., 2022). La stérilisation peut être poussée jusqu'à des températures de 138–145 °C pendant 2–10 s ce qui correspond à une stérilisation Ultra Haute Température (UHT) (Rosenberg, 2022).

Certains courants de pensée suggèrent que le lait cru possède plus de qualités nutritionnelles que le lait pasteurisé. Il a cependant été démontré que la pasteurisation n'impacte pas significativement les qualités nutritionnelles du lait (Lucey, 2015).

B. La composition du lait de chèvre

Le lait de chèvre est constitué principalement d'eau (plus de 80 %) (Dagnaw et al., 2016), de matières grasses sous formes de gros globules gras, de micelles de caséine, de sucre et de différents types de protéines solubles dont les différentes proportions sont présentées dans le Tableau 1 (Moatsou, 2023).

Tableau 1 : « Présentation comparative de composition brute et de paramètres particuliers des fractions protéiques, azotées et minérales du lait de chèvre et de vache » (Moatsou, 2023)

	Lait de chèvre	Lait de vache
Composition brute		
Solides totaux (%)	11,9 - 16,3	10,5 – 13,7
Lactose (%)	3,2 – 6,3	3,6 – 5,5
Matière grasse (%)	2,5 – 7,8	2,5 - 6
Cendre (%)	0,7 – 1,1	0,6 – 0,9
Protéine (%)	2,5 – 5,2	2,9 - 5
Paramètres particuliers		
Caséine (g 100mL ⁻¹)	2,33 - 4,63	2,4 - 2,8
αs1-caséine (% caséine totale)	0 – 28	38
αs2-caséine (% caséine totale)	13,3 – 16,3	10
β-caséine (% caséine totale)	44,5 – 48,9	33 – 39
κ-caséine (% caséine totale)	13,3 – 16	11 – 13
ø des micelles de caséine (nm)	210 - 270	150 – 188
Protéine de lactosérum (g 100mL ⁻¹)	0,37 – 0,70	0,50 – 0,70
β – lactoglobuline (% des protéines de lactosérum totale)	43,5 – 47,8	59,3 - 62
α – lactoglobuline (% des protéines de lactosérum totale)	14,3 - 22	18,4 – 19,2
Ca (g 100mL ⁻¹)	0,113 – 0,150	0,111 – 0,144
Ca soluble (%)	29,7 – 34,8	37,3 – 40,5
Ca ionique (%)	10,8	6,9 – 8,7
P (g 100mL ⁻¹)	0,100 – 0,16	0,093 – 0,099
P inorganique (%)	0,095	0,075 – 0,092
Citrate (g 100mL ⁻¹)	0,102 - 0.111	0,132 – 0,208
N non protéique (g 100mL ⁻¹)	0,4 ; 0,17 ; 0,24	0,2 ; 0,19
Urée (mg 100mL ⁻¹)	4 - 69	25

La variabilité de la composition du lait de chèvre est due en grande partie à la race ainsi qu'au type d'alimentation ce qui explique la grande diversité de types de fromages présents sur le marché (Martin, 1997). En effet, la grande variabilité de teneur totale en matières solides présente dans le lait fluctue selon le taux de protéines et la teneur en matières grasses. Ces dernières sont impactées par les différents polymorphismes des caséines relatifs aux races de chèvres (Hinrichs et al., 2022). C'est le polymorphisme de la caséine αs1 qui impacte majoritairement les propriétés nutritionnelles et fonctionnelles de ce lait (Moatsou, 2023). Cette dernière affecte la taille des micelles.

Les deux extrêmes (le type *fort* et le type *faible*) dans le polymorphisme de la caséine αs1 sont décrits dans le Tableau 2. Les niveaux d'hydratation des différents polymorphismes αs1 sont similaires, 1,71

– 1,74 g d'eau g⁻¹ (Moatsou, 2023). De plus, les différentes formes de la caséine ne présentent aucune différence significative en ce qui concerne les concentrations en citrate et en calcium (Tziboula, 1997).

Tableau 2 : Tableau de comparaison entre les deux polymorphismes extrêmes de la caséine α 1 observés dans le lait de chèvre (Remeuf, 1993; Tziboula, 1997; Moatsou, 2023)

	Type « fort »	Type « faible »
Concentration en caséine α 1 (g L ⁻¹) (Moatsou, 2023)	7	0,9
Diamètre moyen des micelles (nm) (Tziboula, 1997)	221	268
Minéralisation moyenne (mg Ca g ⁻¹) (Remeuf, 1993)	31,6	34,3

C. Facteurs influençant la production de lait de chèvre

Ce paragraphe détaille les éléments qui peuvent influencer la production de lait chez la chèvre. La Figure 1 illustre schématiquement les liens entre eux comme présenté dans la Figure 1.

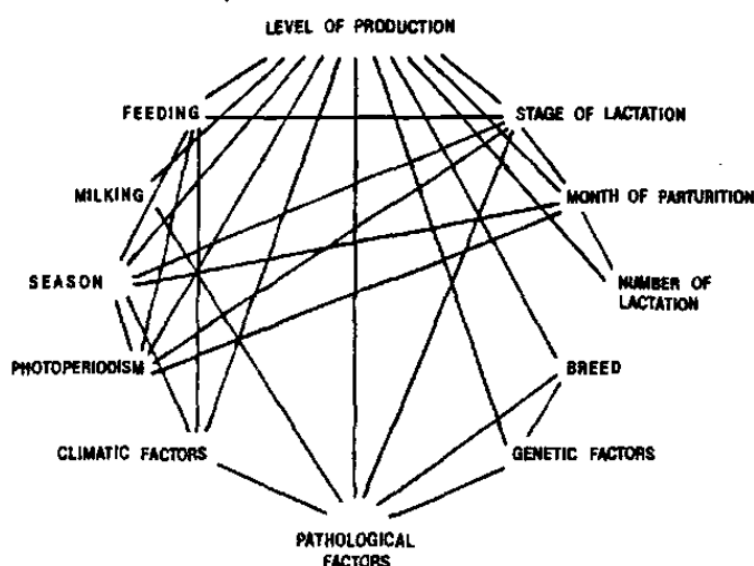


Figure 1 : "INTERRELATIONS BETWEEN FACTORS INFLUENCING MILK COMPOSITION" (Morand-Fehr et al., 1991)

La race est un facteur très impactant chez la chèvre (Martin, 1997). Comme expliqué ci-dessus, la race de la chèvre et sa diversité génétique influencent le polymorphisme des caséines impactant fortement la composition du lait. **L'individu** influence également la production et la composition du lait. En effet, plus la chèvre est grande et lourde plus elle produira du lait (Peacock, 1996). Seulement 10% de la variabilité de production dépend de la taille et de la masse de la chèvre (Peacock, 1996). Une chèvre étant dans la tranche d'âge 4-8 ans est à son pic de production. Le **stade de lactation** impacte au niveau de la variation de composition brute et du rendement de production du lait (Fekadu et al., 2005). Au début de la lactation, le volume de lait est faible et la teneur en solides est élevée (Fekadu et al., 2005). La teneur en solides diminue et le volume de lait augmente avec l'avancement de la lactation (Fekadu et al., 2005). Après avoir dépassé la moitié de la lactation, la part de solides augmente à nouveau et le volume de lait diminue. La production est influencée par le **nombre de lactations**, le pic de production chez les chèvres est atteint lors de la troisième lactation (Fekadu et al., 2005; Galina et al., 2007).

Le **régime alimentaire** influence la composition du lait de chèvre et des produits laitiers (Galina et al., 2007). Le type d'exploitation influence le régime et la fréquence de distribution de la nourriture. Certaines exploitations font pâturer les chèvres avec ou sans système de pâturage tournant tandis que d'autres gardent les chèvres à l'intérieur et nourrissent leur cheptel avec du foin et des aliments concentrés. Outre le régime, **la fréquence de prise alimentaire** impacte la quantité et la composition du lait de chèvre. Dès l'état primaire de jeûne alimentaire, la production de lait diminue tandis que la concentration en graisse augmente et le rapport entre la quantité d'acide gras C18 et les acides gras saturés à courte chaîne augmente (Morand-Fehr et al., 1991).

Pour conclure, bien que les facteurs susmentionnés jouent un rôle significatif dans la détermination des caractéristiques physico-chimiques du lait de chèvre, il est important de souligner que ces éléments ne représentent pas une liste exhaustive. Les interactions complexes entre ces facteurs demeurent un domaine de recherche en évolution constante, témoignant de la complexité intrinsèque de la composition du lait de chèvre. Des études continues sont nécessaires pour approfondir notre compréhension des influences mutuelles et des mécanismes sous-jacents.

D. La microbiologie du lait

La flore microbienne du lait peut être exogène ou endogène (Brisabois et al., 1997). La flore microbienne endogène provient des excréments mammaires de l'animal, alors que la flore microbienne exogène provient d'un contact direct avec des animaux infectés ou de l'environnement. La flore microbienne contribue à la variété des produits disponibles sur le marché : la nature du produit, de son mode de production et de sa transformation vont influencer les types de bactéries susceptibles d'infecter le produit.

La flore microbienne du lait peut être exogène ou endogène. Elle contribue à la variété des produits disponibles sur le marché. La nature du produit, son mode de production et de transformation vont influencer les types de bactérie qui pourront infecter le produit. La flore microbienne endogène provient des excréments mammaires de l'animal ; alors que la flore microbienne exogène provient d'un contact direct avec des animaux infectés ou de l'environnement.

La majorité des micro-organismes pathogènes est exogène (Thaker et al., 2013). Les principaux pathogènes du lait sont listés ci-dessous (Brisabois et al., 1997) :

- *Salmonella sp*
- *Listeria monocytogenes*
- *Staphylococcus aureus*
- *Escherichia coli*
- Les bactéries du genre *Brucella*
- Les mycobactéries

Parmi la multitude de micro-organismes qui existe, ils peuvent être classés selon la température à laquelle ils se développent.

Les bactéries thermophiles, mésophiles et psychrotrophes

Les bactéries psychrotrophes sont des micro-organismes tolérantes au froid qui peuvent se développer à des températures inférieures à 10°C, elle atteignent cependant une croissance optimale à des températures comprises entre 15 et 20°C (de Oliveira et al., 2015). Classées par ordre décroissant de présence, les bactéries psychrotrophes principalement présentes dans le lait sont du genre *Pseudomonas*, des entérobactéries et des bactéries Gram positives (Quigley et al., 2013; de Oliveira et al., 2015).

Les bactéries mésophiles sont des micro-organismes qui prospèrent à des températures modérées, généralement dans une plage de températures allant de 30 à 37 °C (Johnson, 2014). La flore mésophile, composée d'une variété d'espèces bactériennes, est un indicateur fiable de la qualité du lait. Elle englobe principalement les bactéries lactiques, mais comprend également d'autres genres tels que *Chryseobacterium*, *Staphylococcus*, *Corynebacterium* (Quigley et al., 2013; Lucey, 2015).

Les bactéries thermophiles peuvent survivre à des températures allant jusqu'à 122 °C (Bajpai, 2023). Selon leur température de croissance optimale, elles sont classées en thermophiles modérées, thermophiles extrêmes et hyperthermophiles (voir Tableau 3) (Bajpai, 2023).

Tableau 3: Température de croissance optimale des différents catégories de bactéries thermophiles (Bajpai, 2023)

Type de bactérie thermophile	Température de croissance optimale (°C)
Modéré	50-60
Extrême	60-80
Hyperthermophile	80-110

Les Salmonella

Les *Salmonella* font partie de la famille des *Enterobacteriaceae* (Brisabois et al., 1997). Ce sont des bactéries à Gram négatif de type aérobie-anaérobie facultatif (Brisabois et al., 1997; Smathers et al., 2023). Elles sont pourvues des flagelles péritriches, certains sérovars sont immobiles (Poppe, 2020).

La salmonelle est un agent pathogène zoonotique chez les humains et les animaux (Brisabois et al., 1997). La bactérie *Salmonella* peut être présente dans le lait cru ou non pasteurisé et se retrouver dans les produits dérivés tel que le fromage. L'infection aiguë ou chronique des animaux entraîne l'excrétion de *Salmonella* dans le lait mais les salmonelles peuvent aussi provenir de l'environnement (Smathers et al., 2023).

Listeria monocytogenes

« Le genre *Listeria* appartient à la branche phylogénétique des *Clostridium* tout comme *Staphylococcus*, *Streptococcus Lactococcus* et *Bacillus* » (Brisabois et al., 1997). Les *Listeria* sont des bactéries opportunistes qui provoquent des maladies chez les personnes immunodéprimées (Cossart et al., 2008). Elles peuvent induire après l'ingestion d'aliments hautement contaminés les infections suivantes (Cossart et al., 2008) :

- Une méningite
- Une méningo-encéphalite,
- Des infections materno-fœtales et périnatales,
- Une gastro-entérite fébrile.

Staphylococcus aureus

Selon la littérature, les bactéries genre *Staphylococcus* sont définis comme «des cocci à Gram positif, non sporulés, regroupés en amas, immobiles, anaérobies facultatifs et possédant une catalase » (Brisabois et al., 1997). Les staphylocoques produisent des entérotoxines dans le lait à des températures comprises entre 37 et 42°C , ou lorsqu'elles sont exposées à des variations de température (Thaker et al., 2013). Ces bactéries sont tuées à haute température lors de la cuisson mais pas leurs toxines (Thaker et al., 2013). Les maladies et symptômes provoqués par les staphylocoques peuvent être mineurs ou majeurs (Thaker et al., 2013) :

- Apparition de boutons, de furoncles et/ou de cellulite

- Syndrome de choc
- Impétigo
- Abscess
- Méningite
- Endocardite
- Septicémie

Escherichia coli

Escherichia coli (EC) appartient à la famille des *Enterobacteriaceae* (Croxen et al., 2010). La majorité des souches d'EC sont inoffensives et sont commensales du système digestif (Akinjogunla et al., 2022). Certaines souches d'EC sont capables d'acquérir de l'ADN plasmique codant pour l'entérotoxine ou des facteurs d'invasion et devenir virulentes (Akinjogunla et al., 2022). La diversité d'infections pouvant être causées par EC est grande, elle va de l'infection urinaire à l'infection du système nerveux central (Croxen et al., 2010; Akinjogunla et al., 2022).

Les bactéries du genre *Brucella*

Les bactéries du genre *Brucella* sont dangereuses pour les chèvres car elles sont vectrices de la brucellose (Teshome et al., 2022; De la Rosa-Ramos et al., 2023). La brucellose cause l'avortement du chevreau pendant le dernier tiers de la gestation ainsi qu'une diminution de la fertilité et de la production laitière chez la chèvre (De la Rosa-Ramos et al., 2023).

Les mycobactéries

Mycobacterium paratuberculosis provoque la paratuberculose chez les ruminants (Grant et al., 2001). La paratuberculose est une entérite granulomateuse chronique qui touche principalement la muqueuse intestinale et les ganglions lymphatiques mésentériques (Singh et al., 2004). Cette maladie provoque l'anorexie, la perte de poids progressive et la mort chez le ruminant (de Lacerda Roberto et al., 2021). La principale voie de transmission chez les chèvres est l'ingestion d'eau et de nourriture contaminées par des matières fécales infectées (Grant et al., 2001; de Lacerda Roberto et al., 2021). Les animaux touchés transmettent également l'agent par le lait, présentant un risque biologique pour la santé publique (de Lacerda Roberto et al., 2021). *Mycobacterium paratuberculosis* serait une bactérie potentiellement protagoniste dans la maladie de Crohn chez l'humain (Chiodini, 1989).

E. Le secteur laitier caprin belge

La Belgique possédait un cheptel caprin de 17 102 têtes en 2021 ce qui représente une augmentation de 25% par rapport à 2016 (SPW, August-1-2023). Les chèvres sont rarement exploitées à titre de revenu principal en Belgique et sont généralement élevées à titre de revenu complémentaire lors de la diversification (SPW, August-1-2023).

L'élevage caprin professionnel wallon est orienté vers la production de fromage à contrario de l'élevage caprin professionnel flamand qui lui est orienté vers la production laitière sans transformation. La production de fromage de chèvre en passée de 5 808 T à 10.077 T entre 2016 et 2020 pour ensuite chuter de 26,9% entre 2020 et 2021 (Statbel, 2021).

F. Le fromage lactique affiné à croute fleurie et le matériel biologique utilisé pour sa fabrication

Le fromage lactique affiné à croute fleurie

Les fromages à pâtes molles peuvent être à croute fleurie ou lavée. Ce sont des fromages lactiques égouttés sans pression. La croute fleurie provient du champignon *Penicillium candidum*, développé ci-dessous, ajouté lors de l' emprésurage.

Pénicillium candidum

Pénicillium candidum (PC) est vendu sous l'appellation "PC neige" par la société Danisco. PC est également le nom vernaculaire du *Penicillium camemberti* (Danisco, 2010). C'est un champignon vrai qui développe des thalles filamenteux blancs à la surface du fromage (Ropars, 2022). Il a été sélectionné pour garantir un traitement de surface homogène et contrôlé lors de la fabrication du fromage à croute fleurie. *Pénicillium Candidum* inhibe le développement des contaminants (Danisco, 2010).

Geotrichum candidum sp

Geotrichum candidum (GC) est un champignon levuriforme. Il est utilisé dans la fabrication du fromage et dans certains types de lait fermentés (Eliskases-Lechner et al., 2022). Ses mécanismes d'action principaux sont la protéolyse, la lipolyse, le catabolisme des acides aminés et des acides gras libres ainsi que la désacidification (Danisco, 2011). GC affecte l'apparence, le goût et l'arôme des fromages et consomme l'acide lactique produit par les bactéries lactiques mais pas le lactose. Il ne se développe pas dans le lait mais bien dans le caillé lors de l'affinage ((Danisco, 2011; Eliskases-Lechner et al., 2022).

Flora Danica

Flora Danica (FD) est un ferment mésophile (CHR Hansen, 2019), sélectionné pour la fabrication de fromage à pâtes pressées non cuites et de fromages à pâtes molles (CHR Hansen, 2019). C'est un mélange de *Lactococcus lactis sp* et de *Leuconostoc* (CHR Hansen, 2019). Le premier est une bactérie à Gram positif utilisée pour fabriquer du babeurre et du fromage (Kondrotiene et al., 2018). Il est également utilisé en médecine humaine pour le traitement de certaines maladies (Kondrotiene et al., 2018). Le second est une bactérie lactique hétérofermentaire (Devoyod et al., 1988).

Présure chevrette – BERTHELOT®

La présure est une enzyme animale isolée de l'estomac du jeune ruminant, généralement le veau (Hellmuth et al., 2013). Le composant principal de la présure est la chymosine mais certaines marques y ajoute d'autres protéases (Lucey, 2017). La coagulation acide en combinaison avec de faibles quantités de présure peut être utilisée pour fabriquer certains types de fromage. Cette utilisation d'acide modifie considérablement le comportement de coagulation ce qui pousse les industriels à conserver l'utilisation de la présure animale (Lucey, 2017).

La présure « Chevrette » de chez Berthelot utilisée dans le cadre de ce travail est une présure simple obtenue par macération lente de caillettes de chevreaux. Sa concentration minimum en chymosine est de 180 mg/L (Alliance pour l'élevage pastoral, 2023).

3. Matériel et méthode

3.1. Production du lait

Le lait est acheté à la ferme « La Petite Campagne » située à Bovesse en Belgique. Ils élèvent des porcs et des limousines qu'ils valorisent via leur boucherie. Ils cultivent également du persil, des pommes de terre et des légumes.

Leur élevage caprin est composé de 150 chèvres alpines. La traite s'effectue une fois par jour ce qui diminue le rendement mais augmente le confort de vie des exploitants. Les chèvres sont nourries avec du foin de la ferme séché en grange. Chaque année le foin est analysé afin de pouvoir adapter la nourriture concentrée distribuée au troupeau. Le troupeau est indemne du CAEV (Arthrite Encéphalite Caprine à Virus). L'entièreté de la production de lait est valorisée en fromage et vendue directement au magasin à la ferme. Cette ferme a été choisie car c'est une production professionnelle où l'alimentation y est suivie et distribuée automatiquement aux chèvres. C'est également le troupeau

de chèvre le plus proche du laboratoire ce qui réduit au minimum le temps entre la traite et la transformation au sein du laboratoire.

3.2. Transformation du lait

Deux fois 50 ml de lait sont prélevés, placés sous vide et congelés afin de pouvoir analyser leurs caractéristiques physico chimiques ultérieurement.

Trois litres de lait sont placés dans des béchers en inox d'un volume de cinq litres, cette préparation de bécher est répétée quatre fois.

Les lots de lait subissent les différents traitements thermiques étudiés :

- Le premier est refroidi à 4°C dans un bain de glace avant d'être placé au frigidaire à 4°C pendant 24h. Il est ensuite réchauffé à 20°C sur une plaque chauffante agitante et est emprésuré. Le fromage fabriqué à partir de ce lait est appelé **FF** pour fromage provenant de l'échantillon de lait ayant été refroidi une nuit avant son emprésurage.
- Le deuxième est refroidi à 20°C dans un bain de glace et est ensuite emprésuré. Il est transformé cru. Le fromage fabriqué à partir de ce lait est appelé **FC** pour fromage provenant du lot de lait ayant été emprésuré dès son arrivée au laboratoire
- Le troisième est chauffé jusqu'à une température de 60°C pendant deux minutes sur une plaque chauffante avec une agitation constante. Il est ensuite refroidi à 20°C dans un bain de glace et finalement emprésuré. Il est transformé après sa thermisation. Le fromage fabriqué à partir de ce lait est appelé **FT** pour fromage provenant du lot de lait ayant été emprésuré après avoir subi le processus de thermisation
- Le quatrième est chauffé jusqu'à une température de 80°C pendant cinq minutes sur une plaque chauffante avec une agitation constante. Il est transformé après sa pasteurisation. Le fromage fabriqué à partir de ce lait est appelé **FP** pour fromage provenant du lot de lait ayant été emprésuré après avoir subi le processus de pasteurisation

Il est à noter que la lettre F ou A, correspondant au caractère frais ou affiné des fromages, sera ajoutée entre les deux lettres des abréviations ci-dessus.

La stérilisation n'est pas étudiée car nous n'avons pas les moyens techniques de la réaliser au laboratoire.

L'emprésurage consiste en l'ajout de ferments et de présure au lait.

Dans chaque lot de 3L ont été mélangé :

- 0,005 +/- 0,0001g de ferment mésophile, type Flora Danica MSP
- 0,03 +/- 0,0001g de Pénicillium Candidum sp, PC NEIGE
- 0,012 +/- 0,0001g de Geotrichum candidum sp (ex GEO 17)
- 1,5 ml de présure de chevrette - BERTHELOT®

Après leur emprésurage, tous les lots ont passé 24h dans une étuve à une température constante de 20°C. La coagulation est considérée comme terminée si l'entièreté du caillé s'est détachée des parois du bécher en inox et que le sérum a un pH acide. Le caillé est ensuite moulé dans des faisselles (ref N°3582 Faisselle bûche St-Maure chez Tomega). Après 12h de repos, les fromages sont retournés dans la faisselle. Après 12h d'attente, les fromages sont démoulés et salés en surface avec 10g de gros sel par kilo de fromage. Une fois les fromages salés ils sont placés sur un store pendant 24h puis placés à l'étuve pour l'affinage à une température constante de 12°C pendant 14 jours. Pendant ces deux semaines ils sont retournés une fois par jour.

Cette production de fromage avec ces quatre variantes de traitement thermique a été répétée 7 fois entre le 11 septembre et le 10 novembre 2023. Les six premières répétitions avaient pour but de créer une quantité de données suffisantes pour la réalisation de l'étude statistique. La septième a été faite dans le but de produire du fromage pour la dégustation (cfr page 22).

Un fromage de chaque type de traitement thermique est scellé sous vide et placé au congélateur (-18°C) afin de réaliser les protocoles inhérents au pourcentage de matière grasse (section 3.6), de cendre (section 3.7) et de protéine (section 3.8).

3.3. Utilisation du Lactoscan pour la mesure des paramètres physico-chimiques du lait

Le « Lactoscan MCCW - V1 » a été utilisé pour mesurer les paramètres suivants du lait, les paramètres sont accompagnés de leur valeur de précision présentés dans le Tableau 4 .

Tableau 4 : Paramètres mesurés par le Lactoscan accompagnés de leur valeur de précision.

Paramètre	Valeur de précision
Pourcentage de matière grasse (%)	0,06%
Pourcentage de solides non gras (SNF) (%)	0,15%
Densité du lait	0,3 kg/m ³
Pourcentage de protéines (%)	0,15%
Pourcentage de lactose (%)	0,20%
Température de congélation (°C)	1°C
Le pourcentage de solides totaux (%)	0,17%

Cet appareil utilise les ultrasons pour quantifier ces différents paramètres. Des essais internes au laboratoire ont été effectués pour tester la précision du Lactoscan. Trois échantillons de lait différents (vache, chèvre et chèvre ayant été congelé) ont été analysés en parallèle avec la machine et avec les mêmes méthodes de références écrites dans les sections 3.6, 3.7, 3.8. Les essais étaient concluants et les résultats étaient identiques ce qui assure la fiabilité de la machine et des tests associés.

Cette étude se concentre sur les résultats du pourcentage de solides totaux, de lactose, de protéine et de matière grasse.

3.4. Mesure de l'acidité de Dornic du lait et du PH

Le degré Dornic correspond au dixième de ml de NaOH N/9 utilisé pour titrer 10 ml de lait (M. et al., 2006). Il mesure la teneur en acide lactique (Morgan et al., 2003; M. et al., 2006).

Le pH a été mesuré grâce à un pHmètre. Il a été calibré une fois par jour avant le début de son utilisation avec deux solutions tampon à pH respectif de 4 et 7.

3.5. Test d'antibiotiques MilkSafe™ 3BTS

Un test rapide de détection des résidus d'antibiotiques à base de bêta-lactamines, de tétracyclines et de sulfamides dans le lait a été effectué.

Avec la pipette, 200 µl de lait sont déposés dans le micropuits de réactif et mélangés en agitant la pipette de haut en bas 5 à 10 fois. La bandelette test est placée dans le micropuits qui est lui-même placé dans une étuve réglée sur 40° C ±2°C. Le micropuits et la bandelette incubent dans l'étuve pendant 5 minutes. Le résultat est interprété immédiatement après cette incubation.

3.6. Mesure du pourcentage de matière grasse du fromage

Le dosage de la matière grasse du fromage a été fait à partir de la méthode Van Gulik. Le protocole a été fourni par le laboratoire de Qualité et Sécurité des Produits Agro-Alimentaires (QSPA) de Gembloux Agro-Bio Tech¹ ;

3,0 g de fromage sont pesés dans la nacelle du butyromètre. Le godet est introduit dans le butyromètre et 10 ml d'H₂SO₄ 62 % sont ajoutés avec précaution par l'ouverture supérieure (attention, ceci est une réaction exothermique). Le butyromètre est placé à 80 °C dans un bain-marie et est agité à plusieurs reprises jusqu'à dissolution complète. 1 ml d'alcool amylique est ajouté lorsque le fromage est bien attaqué (pas avant pour éviter l'évaporation) et le butyromètre est agité manuellement.

Remarque : Au besoin, un peu d'H₂SO₄ 62 % peut être ajouté pour que la colonne de graisse puisse être comprise entièrement dans la partie étroite. Le butyromètre est fermé à l'aide du bouchon en caoutchouc après avoir soigneusement essuyé l'orifice avec de l'ouate et est à nouveau agité.

Le butyromètre est placé pendant 45 minutes au bain-marie à 80 °C en l'agitant régulièrement durant ce laps de temps. Il est ensuite centrifugé pendant 15 minutes à 1020 rpm et replacé au bain-marie à 65 °C pendant 15 minutes sans agiter le tube. Pour terminer, la lecture est effectuée en amenant le ménisque inférieur à 0.

Pour certains fromages le pourcentage de matière grasse était supérieur à 40%. Le butyromètre ayant des graduations n'allant que jusque 40%, les valeurs étaient illisibles. Par défaut, une concentration de 45% a été encodée ce qui peut fausser la fiabilité de l'étude. Cette situation n'a cependant été rencontrée que deux fois sur les 96 répétitions.

3.7. Mesure de la quantité de cendre du fromage

Le protocole suivant est un protocole interne du service de QSPA. Toutes les mesures effectuées pour mesurer le pourcentage de cendre des différents types de fromage sont effectuées avec une précision de +/-0,0001g.

Les creusets sont placés dans une étuve réglée sur 105°C pendant une nuit. Ils sont ensuite placés dans un dessiccateur jusqu'à leur refroidissement. Les creusets sont identifiés grâce à une note faite au crayon sur leur face inférieure. Ils sont ensuite pesés ($=m_{Creuset}$). Une masse de fromage comprise entre 3 et 3,4g est pesée dans les creusets ($=m_{From}$). Les creusets sont ensuite placés dans le four à moufle. La température est augmentée par palier de 50°C toutes les demi-heures jusqu'à atteindre une température de 525°C. La température finale est maintenue pendant 10h. Les creusets sont ensuite placés dans le dessiccateur jusqu'à leur refroidissement afin d'être pesés ($=m_{Totale}$).

Le pourcentage de cendre (= %cendre) est obtenu en appliquant la formule suivante :

$$\%cendre = \left(\frac{m_{Totale} - m_{Creuset}}{m_{From}} \right) * 100$$

¹https://www.qspa.uliege.be/cms/c_5699138/fr/qspa

3.8. Dosage de l'azote total et calcul de la teneur en protéines du fromage

Le protocole du dosage de l'azote est un protocole interne au laboratoire de QSPA.

Sur les 20 tubes disponibles par lancement de protocole, trois étaient réservés pour les blancs, deux pour les témoins de minéralisation et 15 pour les échantillons. Trois répétitions par échantillon de fromage ont été effectuées.

Préparation de l'échantillon

Une masse d'1g d'échantillon est pesé sur un papier filtre quantitatif. Le papier filtre contenant l'échantillon est introduit dans un tube à minéraliser.

Préparation du blanc

Un papier filtre quantitatif ne contenant rien est introduit dans un tube à minéraliser.

Préparation du témoin de minéralisation

Entre 150 et 200 mg de glycine de pureté connue sont pesés sur un papier filtre quantitatif. Le papier filtre est introduit dans un tube à minéraliser.

Minéralisation

Deux catalyseurs de minéralisation (= pastilles Kjeltabs) ainsi que 20 ml d'acide sulfurique 98% sont ajoutés à chaque tube. Les tubes sont placés dans leur support et le support sur le minéralisateur. L'extracteur de fumées est ajusté sur les tubes. La chauffe est programmée et allumée à 420°C. Une fois la température atteinte elle est maintenue pendant 1h. Lorsque les premiers échantillons commencent à changer de couleur, les plaques sont placées à l'avant et à l'arrière et maintenues en place pendant 2h, tout en conservant une température constante. Une fois le temps écoulé, les plaques sont enlevées, le support est retiré du minéralisateur et placé sur une plaque en métal. L'extracteur de fumée est activé.

Distillation et titrage

Les tubes ont été passés au distillateur en commençant par les blancs et les témoins. Un erlenmeyer de 250 ml, contenant 50ml d'acide borique à 4% et 5 gouttes d'indicateur coloré, a été placé en sortie du distillateur. Le titrage des fioles est effectué par une solution d'acide sulfurique de titre connu.

La formule suivante a été utilisée pour le calcul de la teneur en matières protéiques totales (%) :

$$Prot = \frac{(v - vo) * 14 * T * 100}{E * 1000} * 6.25$$

Prot = La teneur en matières protéiques totales (%)

v = Volume d'acide utilisé pour le titrage de l'échantillon (ml)

vo = Volume d'acide utilisé pour le titrage du blanc (ml)

T = titre de la solution d'acide (N)

E = masse de la prise d'essai de l'échantillon (g)

3.9. Evaluation de la texture

La texture a été mesurée grâce au « TA1 Texture Analyzer » de la société AMETEK. Avant de réaliser les mesures, des tranches de 1,5cm d'épaisseur ont été découpées. Ce type de découpe a été choisi car il est le plus représentatif de la manière dont nous dégustons un fromage.

Le pourcentage de compression est de 30%, la vitesse de pénétration de la sonde est de 5mm/s et le temps de latence entre les deux compressions est de 5s.

Une grande quantité de mesures peuvent être faites à partir du texturomètre. Nous nous sommes concentrés sur la dureté du fromage lors de la première (Hardness Bite 1) et seconde (Hardness Bite 2) compression ainsi qu'à l'élasticité (Springness) du fromage.

3.10. Evaluation de la couleur du fromage

Les données Lab* ont été mesurées grâce au ColorFlex® EZ de la société HunterLab's. Ce spectrocolorimètre mesure et quantifie la lumière réfléchie par l'échantillon à chaque longueur d'onde du spectre visible. Il renseigne les résultats grâce aux données Lab* qui sont un système de représentation des couleurs dans un espace tridimensionnel.

L'appareil est calibré avant chaque utilisation. Des tranches de fromage de 1,5cm d'épaisseur ont été découpées. Afin d'éviter l'effet de bord et ne mesurer la couleur que de l'intérieur du fromage, leur croûte était retirée afin de ne mesurer la couleur que de l'intérieur du fromage. Ces tranches ont été déposées à l'intérieur de la cellule en verre et le cache a été déposé au-dessus de la cellule. L'appareil est ensuite lancé et les données consignées dans un tableau Excel.

Les données Lab* n'ont pas été étudiées brutes. L'indice de jaunissement calculé à partir des données Lab* a été choisi. Il est calculé à partir de cette formule (Rufián-Henares et al., 2006):

$$\text{Indice de jaunissement} = \frac{142,86 * b}{L}$$

3.11. Analyses métagénétiques

Les analyses métagénétiques ont été réalisées par le laboratoire de Microbiologie des aliments² du département des Sciences des Denrées alimentaires de la Faculté de Médecine Vétérinaire de l'Université de Liège, dont le responsable est le Pr Georges Daube. Le protocole suivant est fourni par le laboratoire et a été effectué sur les quatre types de fromages affinés du lot 3 ainsi que sur le lait qui avait été utilisé pour la production de ceux-ci. Leur protocole a été validé par des publications scientifiques en peer-review.

3.11.1. Extraction de l'ADN création de séquençage et séquençage

La première phase est l'extraction de l'ADN, la création de séquençage et le séquençage. Elle se déroule comme suit :

- Amplification PCR1 (cible ADNr 16S région V1-V3, taille 500bp), quantification et normalisation.
- Amplification PCR2 (cible ITS2, taille 400bp) quantification et normalisation.
- Séquençage NGS (= Next-Generation Sequencing) sur une machine MiSeq (Illumina) pour les deux librairies.

² https://www.dda.uliege.be/cms/c_5304215/fr/dda-microbiologie

3.11.2. Analyse métagénétique

La deuxième phase est l'analyse métagénétique. L'analyse est réalisée en parallèle mais séparément pour les profils microbiens et profils fongiques. Cette analyse se déroule comme suit :

- Nettoyages des séquences obtenues
- Recherche et élimination des séquences chimériques (algorithme VSEARCH)
- Alignement sur un alignement de référence (base de données de référence SILVA v138.1 pour les Bactéries et UNITE 12/2020 pour les levures/moisissures))
- Clustérisation des séquences (création des OTUs (=Operational Taxonomic Unit = Unité Taxonomique Opérationnelle) avec un cut-off de 0.03) avec algorithme MOTHUR 1.42
- Attribution taxonomique des séquences jusqu'au genre (base de données de référence SILVA (v.138.1) et UNITE 12/2020.
- Analyse secondaire et attribution taxonomique jusqu'à l'espèce
- Création d'une table synthétique intégrant la distribution des OTUs dans les échantillons ainsi que leur identité taxonomique (phylum-classe-ordre-famille-genre-espèce). Une analyse et un nettoyage est effectué sur les séquences obtenues.

3.11.3. Analyse écologique et statistique

La phase 3 est une analyse écologique et statistique. Une analyse structurale du microbiote est réalisée sur base des critères de groupe définis par les échantillons, ici du fromage et du lait. Pour ce faire les analyses suivantes sont effectuées :

- Analyse de la biodiversité α (estimation de la richesse – indice de Chao ; estimation de la diversité – indice réciproque de Simpson et estimation de l'équitabilité-dérivée de l'indice de Simpson),
- Réalisation d'une matrice de distance-utilisation l'indice de Bray-Curtis,
- Analyse d'ordination non paramétrique (méthode NMDS) pour visualiser les données et tirer des hypothèses,
- Analyse de clustering des groupes définis avec des tests AMOVA (= analysing molecular variance=),
- Analyse de la dispersion β des échantillons au sein des groupes (tests HOMOVA = Homogeneity of molecular variance).

Ensuite une analyse compositionnelle est réalisée avec pour but de déterminer les populations qui contribuent statistiquement à différencier les groupes (test DESEQ2).

Les résultats sont exprimés en « population count » en effet le protocole a pour but d'analyser un effort de capture de 10.000 séquences par échantillon. L'objectif étant de caractériser les fromages et de permettre une différenciation de ceux-ci, les résultats ne sont donc pas exprimés en termes de présence absolue. Pour faciliter la lecture des données, une moyenne des deux répétitions du protocole ont été opérées. Les efforts de capture de 10.000 séquences ont été transposés en pourcentage de présence.

3.12. Dégustation – Profil Flash

La dégustation avec un panel d'experts a été écartée pour cause de manque d'expert formé au moment de la réalisation du travail. De plus, la dégustation avec un jury naïf a, elle aussi, été écartée suite à la trop faible disponibilité de lait au moment de la production. En effet, le matériel de production du laboratoire n'était pas adapté à une production à cette échelle.

La dégustation en profil flash donc a été choisie pour la quantité limitée de paneliste nécessaire et le fait qu'ils n'ont pas besoin d'être formés.

La dégustation a été effectuée dans les cabines sensorielles de QSPA, 8 panelistes ont participé : 4 hommes et 4 femmes âgés de 20 à 55 ans ont participé à la dégustation. Les panelistes font partie du personnel attaché au laboratoire de QSPA, à Diversiferm, au service de chimie «Chemistry for Sustainable Food and Environmental Systems » et de chimie analytique de Gembloux Agro-Bio Tech. QSPA et Diversiferm étant des services liés à l'agroalimentaire, les participants à la dégustation sont relativement habitués à ce genre de dégustation et possèdent donc du vocabulaire adéquat par rapport au sujet.

La première étape est une dégustation durant laquelle les panelistes ont pour objectif d'observer, de manipuler et de goûter les échantillons. Les panelistes reçoivent l'entièreté des échantillons simultanément (Varela et al., 2014). Au vu du type d'échantillons gras et plutôt collants, des biscottes neutres ont été mises à disposition. L'objectif de cette dégustation est que les panelistes réfléchissent à des descripteurs discriminants qui permettraient de décrire les échantillons (Varela et al., 2014). Les descripteurs doivent être non hédoniques (Delarue et al., 2004; Varela et al., 2014).

La deuxième étape est un échange entre les panelistes durant lequel ils discutent des descripteurs qu'ils ont choisis individuellement (Varela et al., 2014; Bredie et al., 2018). Ils créent une liste de descripteurs communs qu'ils redéfinissent ensemble. Les panelistes peuvent également choisir des extrêmes pour certains descripteurs. Par exemple dans notre cas ils ont défini la couleur. Le blanc correspondait au 0 et le jaune au niveau 5. L'exemple de la Figure 2 ci-dessous leur a été distribué pour faciliter la compréhension. Figure 2 : "Example of the physical ranking of the samples along one sensory attribute and of its transcription onto a form." (Varela et al., 2014) Le meneur de dégustation ne peut pas participer à cette discussion afin de ne pas induire un biais dans le choix de descripteurs (Varela et al., 2014; Bredie et al., 2018).

La dernière étape est une seconde dégustation durant laquelle les panélistes ont pour objectif de classer les échantillons pour chaque descripteur défini durant l'étape 2 (Bredie et al., 2018). Les ex-aequo sont admis (Varela et al., 2014). L'ensemble des échantillons est présenté simultanément aux panelistes et ils peuvent goûter à nouveau l'entièreté des échantillons (Delarue et al., 2004; Varela et al., 2014; Bredie et al., 2018).

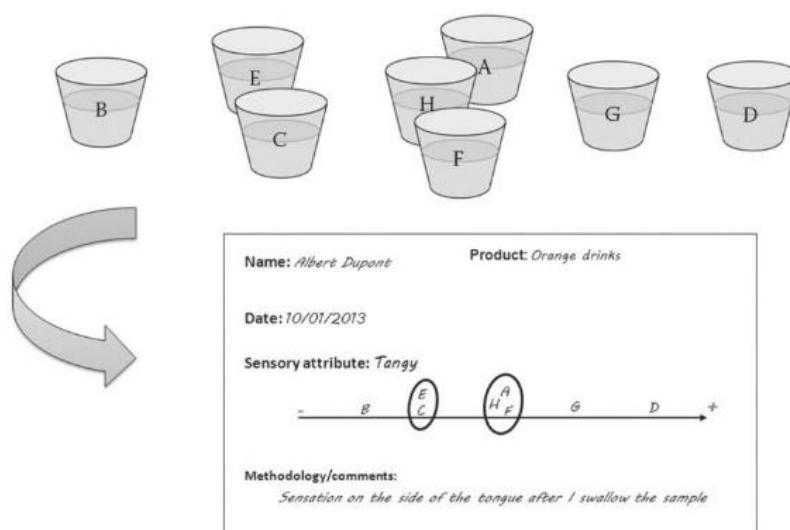


Figure 2 : "Example of the physical ranking of the samples along one sensory attribute and of its transcription onto a form." (Varela et al., 2014)

3.13. GC MS

Le protocole utilisé pour la séparation et l'identification des composés organiques volatils (COV) contenus dans les fromages est détaillé ci-dessous. Cette séparation et identification ont été effectuées au sein du Laboratoire de Sciences & Technologies Alimentaires (LSTA)³ par Monsieur Sale Milovan.

L'extraction dans l'espace de tête (HS) se fait à une température de 50°C. Le HS permet de collecter dans un vial, après thermostatisation de cette dernière, l'espace de tête gazeux pour l'injecter dans le GC. Le temps de thermostatisation choisi est de 30 minutes. La quantité d'échantillon placée dans chaque vial est de 5g.

Les paramètres d'extraction sont les suivants :

- Température de thermostatisation : 50°C ;
- Temps de thermostatisation : 30 minutes ;
- Pressurisation de la vial : 37 psi ;
- Pressurisation de la colonne : 22 psi ;
- Temps de pressurisation : 1,5 minutes ;
- Temps de déclin : 1,7 minutes ;
- Température du piège : 30°C → 280°C ;
- Temps de séchage du piège : 3 minutes ;
- Temps de maintien du piège : 4 minutes ;
- Désorption : 0,5 minute ;
- Température de l'aiguille : 110°C ;
- Température de ligne de transfert : 145°C.

Cette extraction des COV a été réalisée par injection d'une fibre 50/30 µm divinylbenzene/Carboxen/polydimethylsiloxane SPME fibre (Supelco, Bellefonte, PA) dans le vial et l'exposée à l'HS. Les analyses des composés volatils ont été effectuées sur un chromatographe Agilent GC system 7890A couplé à un MS 5975C. Les composés volatils ont été séparés à l'aide d'une colonne capillaire HP-INNOWAX dont le gaz vecteur était de l'hélium avec un débit de 1 ml/min. Les composés ont été identifiés par comparaison de l'IR avec ceux décrits dans la littérature et par comparaison de leurs spectres de masse avec ceux contenus dans les bibliothèques NIST et WILEY.

3.14. Analyses statistiques

3.14.1. Caractéristiques physico-chimiques du lait

L'effet du lot sur les différentes caractéristiques physico-chimiques du lait a été évalué au moyen d'une ANOVA à 1 facteur (H_0 : absence de variabilité si $p > 0,05$ et H_1 : présence de variabilité si $p < 0,05$). L'égalité des variances qui est une des conditions d'application d'un test ANOVA a été testée à l'aide du test de Brown-Forsythe (H_0 : Les variances sont homogènes et H_1 : Les variances ne sont pas homogènes). La normalité des données n'a pas pu être formellement testée de manière robuste. Les données sont toutefois considérées comme normales

³ <https://lsta-meurice.be/>

3.14.2. L'analyse en composante principale, distance de Mahalanobis standardisée et détection des valeurs aberrantes

L'analyse en composante principale, le calcul de la distance de Mahalanobis standardisé et la détection des valeurs aberrantes ont été effectués sur le logiciel Rstudio version 4.2.0.. Le code utilisé pour cette partie de l'étude statistique se trouve dans les annexes à la page 53.

L'ANOVA, à deux facteurs croisés effectuées sur les données des fromages, a également été réalisée sur le logiciel Rstudio version 4.2.0.. L'égalité des variances, qui est une des conditions d'application d'un test ANOVA, a été testée à l'aide du test de Brown-Forsythe (H_0 : Les variances sont homogènes et H_1 : Les variances ne sont pas homogènes). La normalité des données n'a pas pu être formellement testée de manière robuste. Les données sont toutefois considérées comme normales.

4. Résultats

4.1. Paramètres physico-chimiques du lait

4.1.1. Résultats liés au Lactoscan

Le Tableau 5 illustre les statistiques fondamentales des différents lots de lait utilisés lors de la production du fromage. Le nombre de répétitions est égal 3 pour l'ensemble des lots sauf pour les résultats du lot 1 pour lequel le nombre de répétitions est égal à 2.

Tableau 5 : Récapitulatif des moyennes, écart-types, écart-types relatif (RSD) des différentes caractéristiques physico-chimiques du lait obtenues grâce au Lactoscan. Le n du lot 1 est égale à 2 et le n des autres lots est égale à 3. 4 chiffres après la virgule ont été conservés.

	Solides totaux (%)			Lactose (%)			Protéine(%)			MG (%)		
	Moyenne	Ecart-type	RSD (%)	Moyenne	Ecart-type	RSD (%)	Moyenne	Ecart-type	RSD (%)	Moyenne	Ecart-type	RSD (%)
1	11,4250	0,4031	3,5278	4,6400	0,0849	1,8287	3,0850	0,0636	2,0629	2,9750	0,5586	18,7770
2	11,9033	0,0503	0,4228	4,5800	0,0100	0,2183	3,0433	0,0058	0,1897	3,5700	0,0656	1,8368
3	12,5667	0,4428	3,5233	4,8233	0,0681	1,4112	3,2033	0,0513	1,6020	3,7900	0,5620	14,8298
4	12,8633	0,0833	0,6473	4,8267	0,0115	0,2392	3,2033	0,0058	0,1802	4,0867	0,1041	2,5469
5	13,2967	0,0153	0,1149	4,8033	0,0115	0,2404	3,1833	0,0115	0,3627	4,5567	0,0306	0,6705
6	13,5800	0,1136	0,8364	5,0300	0,0200	0,3976	3,3367	0,0153	0,4578	4,4267	0,1474	3,3303
Total	12,6753	0,7611	6,0049	4,7924	0,1533	3,1984	3,1812	0,1004	3,1550	3,9553	0,5740	14,5128

L'ensemble des valeurs concordent avec ce qui a été trouvé dans la bibliographie (paragraphe B, page 11). A savoir, le pourcentage de solides totaux moyen total est de 12,67 % ce qui est bien compris entre 11,9 et 16,3%, le pourcentage de lactose moyen total est de 4,79% ce qui est bien compris entre 3,2 et 6,3%, le pourcentage de protéine moyen total est de 3,18% ce qui est bien compris entre 2,5 et 5,2% et le pourcentage de matière grasse moyen total est de 3,95% ce qui est bien compris entre 2,5 et 7,8%.

Tableau 6 : Résultats des tests de Brown-Forsythe et des ANOVA à 1 facteur sur les données des caractéristiques physico-chimiques du lait de chèvre. Le n est égal à 17.

	Brown-Forsythe test	P	Anova 1 facteur		
	F (DFn, DFd)		F	P	R square
MG	2,118 (5, 11)	0,1391	9,177	0,0012	0,8066
Protéine	2,803 (5, 11)	0,0717	32,62	<0,0001	0,9368
Lactose	2,353 (5, 11)	0,11	43,74	<0,0001	0,9521
Solides totaux	1,947 (5, 11)	0,1658	31,8	<0,0001	0,9353

L'ensemble des p-valeurs obtenues pour le test de Brown-Forsythe est supérieur à 0,05 (voir Tableau 6). L'hypothèse 0 est donc validée, les variances sont homogènes. En raison du nombre restreint de données dans l'échantillon, la normalité des données n'a pas pu être formellement testée de manière robuste. Les données sont toutefois considérées comme normales.

Concernant les résultats des différentes ANOVA 1 facteur, l'ensemble des p-valeurs est inférieur à 0,05. L'hypothèse 0 est donc rejetée et l'hypothèse 1 acceptée. Il y a donc une différence significative entre les caractéristiques physico-chimiques des différents lots de lait. Les différents lots de lait utilisés pour fabriquer les différents lots de fromage n'ont donc pas les mêmes compositions.

Tableau 6 : Résultats des tests de Brown-Forsythe et des ANOVA à 1 facteur sur les données des caractéristiques physico-chimiques du lait de chèvre. Le n est égal à 17.

	Brown-Forsythe test	P	Anova 1 facteur		
	F (DFn, DFd)		F	P	R square
MG	2,118 (5, 11)	0,1391	9,177	0,0012	0,8066
Protéine	2,803 (5, 11)	0,0717	32,62	<0,0001	0,9368
Lactose	2,353 (5, 11)	0,11	43,74	<0,0001	0,9521
Solides totaux	1,947 (5, 11)	0,1658	31,8	<0,0001	0,9353

Une augmentation de la concentration en matière grasse, lactose et protéine est observée (voir Figure 3). Les données concernant la quantité de lait totale produite par le troupeau n'ont pas été relevées. Suite à une communication interne entre la productrice et le laboratoire il a été confirmé que les volumes totaux de lait produit par le troupeau a considérablement diminué entre le 11 septembre et le 30 novembre 2023, dates de livraison du 1^{er} et 7^{ème} lot de lait. La productrice de lait a limité le volume livré lors des 3 derniers lots à cause de cette diminution.

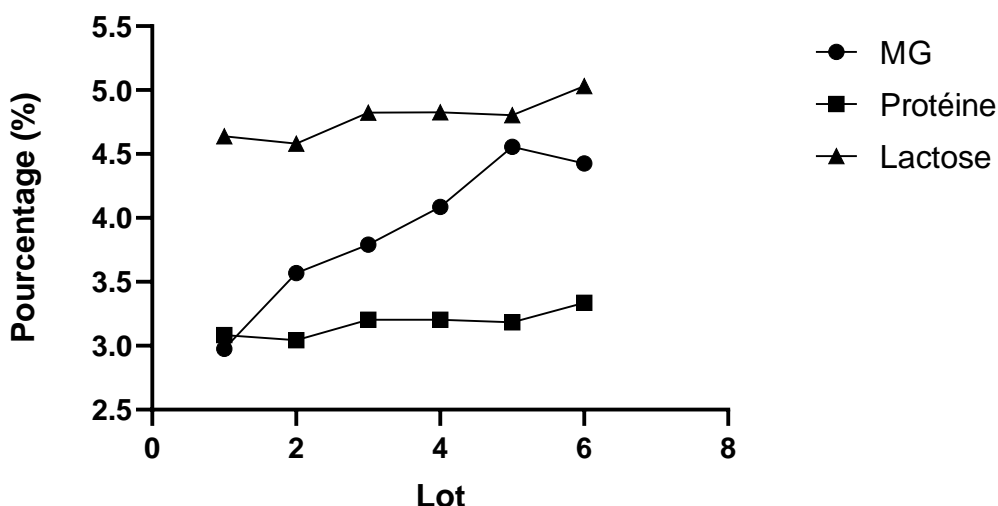


Figure 3 : Evolution de la quantité de matière grasse, de protéine et de lactose au fil des semaines. Le n est égal à 17.

La composition du troupeau et l'alimentation de celui-ci étant restées inchangées, la seule variable qui a pu impacter ces différences est le stade de lactation (Fekadu et al., 2005; Goetsch et al., 2011) . Les analyses ont permis de mettre en lumière des variations substantielles dans la composition du lait au fil du temps.

Si l'étude avait été faite à partir de lait dont les caractéristiques physico-chimiques avaient été standardisées ou plus constantes au fil des semaines, l'effet du lot aurait pu être écarté des discussions suivantes.

4.1.2. Présence d'antibiotique, pH et de l'acidité de Dornic

Les trois répétitions de chaque lot de lait de test rapide de détection des résidus d'antibiotiques à base de bêtalactamines, de tétracyclines et de sulfamides se sont révélées négatifs.

Le pH de 6,65 (présent dans le Tableau 7) en moyenne sur l'ensemble des lots est compris dans les valeurs habituelles qui se situent entre 4,5 et 7 (Jenness, 1980; Martin, 1997; Dagnaw et al., 2016).

De même le degré d'acidité de Dornic moyen de 18,89°D (voir Tableau 7) sur l'ensemble des lots de lait est compris entre les valeurs normales de 16 et 20°D (M. et al., 2006).

Tableau 7 : Récapitulatif des moyennes, écart-types, écart-types relatifs (RSD) de l'acidité de Dornic et du pH du lait. Le n est égal à 3.

	Acidité de Dornic			PH		
	Moyenne	Ecart-type	RSD (%)	Moyenne	Ecart-type	RSD (%)
1	18,83	0,76	4,06	6,66	0,01	0,09
2	18,17	0,29	1,59	6,66	0,01	0,15
3	19,50	0,50	2,56	6,62	0,01	0,09
4	19,17	0,29	1,51	6,61	0,01	0,15
5	19,50	0,50	2,56	6,69	0,02	0,31
6	18,17	0,29	1,59	6,65	0,03	0,38
Total	18,89	0,70	3,69	6,65	0,03	0,46

4.2. Paramètres physico chimiques du fromage et sa texture

L'analyse visuelle des différents fromages est claire, une différence au niveau des fromages frais est observée (voir Figure 4).



Figure 4 : Photo des fromages. Sur la première ligne les fromages frais issus du lot de lait 5 et sur la seconde ligne les fromages affinés du lot de lait 3. Dans la première colonne les FF, la deuxième les FC, la troisième les FT et la dernière les FP.

Les fromages affinés présentent peu de différences à l'œil nu. Le FFF 5 comporte plus de trous et est plus spongieux. Le FFP 5 est plus dense et collant. Lors des tests effectués pendant les mois de juillet et d'août un ajustement à la procédure de fabrication a dû être effectué à cause de la texture du caillé issu du lait pasteurisé. En effet peu importe le temps d'attente après l'emprésurage, le gel du caillé était trop faible pour tenir dans les faisselles. Une étamine a dû être ajoutée pour palier à ce problème.

Le tableau complet de résultats des données analytiques comprend une colonne faisant référence au lot. Par souci de clarté et de synthétisation le Tableau 8 a été créé. Celui-ci ne contient plus la colonne « lot » et conserve uniquement celles du type d'affinage et du type de traitement thermique appliqué au lait. Il illustre les moyennes, écart-types et écart-types relatifs (RSD) des résultats des différents fromages pour les facteurs :

- PH,
- Aw,
- Indice de jaunissement,
- Hardness Bite 1,
- Hardness Bite 2,
- Springness.

Le nombre de répétitions est égal à 4 pour la variable « lot », à 6 pour la variable « traitement thermique » et à 1 pour l'interaction « traitement thermique » et « lot ».

Tableau 8 : Récapitulatif des moyennes, écart-types, écart-types relatifs (RSD) des différentes caractéristiques physico-chimiques, des données de texture et de couleur du fromage frais et affiné en fonction du traitement thermique appliqué. Le n est égal à 4 pour la variable « lot », à 6 pour la variable « traitement thermique » et à 1 pour l'interaction « traitement thermique » et « lot ».

Affinage	Traitement	Statistique	PH	Aw	Indice de jaunissement	Hardness Bite 1 (N)	Hardness Bite 2 (N)	Springiness (mm)
Frais	Frigo	Moyenne	4,6950	0,9838	16,3783	10,4399	6,3651	-1,4376
		Ecart-type	0,1283	0,0070	0,4536	5,9389	3,1461	0,7592
		RSD (%)	2,7335	0,7142	2,7694	56,8867	49,4268	-52,8090
Frais	Cru	Moyenne	4,6400	0,9778	16,8000	19,5655	10,8161	-1,3801
		Ecart-type	0,1203	0,0102	1,4651	5,4067	2,4015	0,5473
		RSD (%)	2,5934	1,0397	8,7206	27,6336	22,2027	-39,6564
Frais	Thermisé	Moyenne	4,8067	0,9810	17,8026	19,6221	11,1943	-0,9182
		Ecart-type	0,2300	0,0079	3,0015	7,8046	3,6494	0,3279
		RSD (%)	4,7853	0,8027	16,8600	39,7746	32,6009	-35,7154
Frais	Pasteurisé	Moyenne	4,7733	0,9830	15,1677	12,5546	7,6942	-1,6168
		Ecart-type	0,3328	0,0072	0,8254	8,2358	3,7068	0,6363
		RSD (%)	6,9718	0,7336	5,4419	65,5996	48,1768	-39,3581
Affiné	Frigo	Moyenne	4,8205	0,9625	27,1427	51,1118	34,2611	-1,7708
		Ecart-type	0,0512	0,0059	4,3238	28,3300	17,1583	0,5649
			1,0628	0,6120	15,9299	55,4275	50,0811	-31,8976
Affiné	Cru	Moyenne	4,7885	0,9625	25,1492	102,5218	60,9578	-1,3449
		Ecart-type	0,4147	0,0069	5,8143	40,4452	21,9467	0,6000
		RSD (%)	8,6601	0,7221	23,1191	39,4504	36,0032	-44,6113
Affiné	Thermisé	Moyenne	4,8312	0,9612	23,6533	95,8624	57,2125	-1,3539
		Ecart-type	0,0374	0,0033	3,2962	41,7795	20,4462	0,5986
		RSD (%)	0,7739	0,3382	13,9355	43,5828	35,7373	-44,2091
Affiné	Pasteurisé	Moyenne	4,7907	0,9660	20,7262	75,0468	48,5063	-1,1075
		Ecart-type	0,1647	0,0055	3,6556	50,8792	26,5800	0,5454
		RSD (%)	3,4387	0,5708	17,6378	67,7967	54,7970	-49,2407

Les valeurs moyennes de pH sont correspondantes aux valeurs de pH trouvées dans la littérature qui sont comprises entre 4,4 et 5,4 (Miloradovic et al., 2017).

L'activité de l'eau des fromages de chèvre se trouve entre des valeurs de 0,80 et 0,98 selon les sources (Masotti et al., 2012; Tomaszewska-Gras et al., 2019). Les fromages produits lors de ce travail avaient une Aw comprise entre 0,96 et 0,99 ce qui sont des valeurs cohérentes pour des fromages affinés deux semaines.

Concernant les résultats liés aux tests effectués sur la texture, aucune étude utilisant les mêmes types de ferments n'a été trouvée. Les résultats d'Hardness Bite 1 et 2 ainsi que de Springness sont cependant compris dans les mêmes gammes de valeurs (Fresno et al., 2006). Les mêmes conclusions sont faites concernant les données L*, a* et b* et donc les indices de jaunissement sont bien correspondants à d'autres fromages de chèvre du commerce (Fresno et al., 2006).

Le même type de tableau (Tableau 9) a été créé pour les facteurs :

- Protéine,
- Matière grasse (= MG),
- Cendre.

La différence est que le nombre de répétitions est égal à 12 pour la variable « lot », à 18 pour la variable « traitement thermique » et à 3 pour l'interaction « traitement thermique » et « lot » pour le facteur protéine. En effet les protocoles ont été répétés 3 fois pour ce facteur. Pour les facteurs MG et cendre les protocoles ont été répétés 2 fois. Les n sont donc égaux à 8 pour la variable « lot », à 12 pour la variable « traitement thermique » et à 2 pour l'interaction « traitement thermique » et « lot ».

Tableau 9 : Récapitulatif des moyennes, écart-types, écart-types relatifs (RSD) du pourcentage de protéine, de matière grasse et de cendre du fromage frais et affiné en fonction du traitement thermique appliqué. Pour le facteur protéine, n est égal à 12 pour la variable « lot », à 18 pour la variable « traitement thermique » et à 3 pour l'interaction « traitement thermique » et « lot ». Pour les facteurs MG et Cendre, les n sont égaux à 8 pour la variable « lot », à 12 pour la variable « traitement thermique » et à 2 pour l'interaction « traitement thermique » et « lot ».

Affinage	Traitement thermique du lait	Statistique	Protéine (%)	MG (%)	Cendre (%)
Frais	Frigo	Moyenne	15,2531	27,0000	1,1265
		Ecart-type	1,9559	4,0094	0,1370
		RSD (%)	12,8230	14,8495	12,1605
Frais	Cru	Moyenne	17,1919	27,8750	1,9419
		Ecart-type	2,1968	3,5663	0,5357
		RSD (%)	12,7779	12,7940	27,5835
Frais	Thermisé	Moyenne	16,3014	25,0000	2,3488
		Ecart-type	1,4831	2,7884	2,2379
		RSD (%)	9,0981	11,1535	95,2757
Frais	Pasteurisé	Moyenne	14,9311	22,2500	1,0503
		Ecart-type	2,9003	3,5637	0,2043
		RSD (%)	19,4246	16,0167	19,4480
Affiné	Frigo	Moyenne	21,8897	37,6667	2,0896
		Ecart-type	1,7636	5,9659	0,4714
		RSD (%)	8,0566	15,8386	22,5588
Affiné	Cru	Moyenne	22,3581	40,9167	2,6227
		Ecart-type	1,5157	3,3116	0,6766
		RSD (%)	6,7794	8,0935	25,7973
Affiné	Thermisé	Moyenne	21,6533	36,7083	2,1336
		Ecart-type	1,1800	2,5904	0,2658
		RSD (%)	5,4496	7,0568	12,4588
Affiné	Pasteurisé	Moyenne	21,2333	34,5833	2,1820
		Ecart-type	1,4964	2,5033	0,3135
		RSD (%)	7,0475	7,2385	14,3665

Les valeurs moyennes de pourcentage de protéine sont comprises entre 14,9311 et 22,3581% ce qui correspond aux valeurs trouvées dans les différentes sources (Strzałkowska et al., 2009; Goetsch et al., 2011). Les valeurs moyennes de pourcentage de matière grasse (entre 22,25 et 40,9167%) sont, elles, légèrement supérieures aux valeurs trouvées dans les différentes sources (entre 0 et 40%) (Mistry et al., 1993; Fekadu et al., 2005; Dagnaw et al., 2016; Miloradovic et al., 2017). Il est important de noter que les données trouvées dans les différentes sources ne se rapportent pas toujours au même type de fromage qui sont produits avec du lait dont les caractéristiques physico-chimiques sont standardisées.

Concernant le pourcentage de cendre du fromage, les différents RSD sont très variables. Ils sont compris entre 12,1605 et 95,2757% ce qui traduit une dispersion importante des résultats. Aucune étude sur le lien entre la congélation et le pourcentage de cendre n'a été faite sur exactement le même type de fromage. Certaines études ont été faites sur différents types de fromages et de produits alimentaires (Mistry et al., 1993; Tejada et al., 2002; Grzeszczuk et al., 2007). En fonction de la vitesse de congélation, du temps de congélation et du type de congélation l'effet de cette congélation sur la quantité de cendre contenue dans le produit varie. Malgré nos précautions pour éviter cet effet (congélation à -18°C, sous vide), la congélation peut avoir eu un effet sur la quantité de cendre contenue dans le fromage. Nos résultats ne sont donc pas représentatifs pour le pourcentage de cendre contenue dans les fromages.

4.2.1. Analyse en composante principale, distance de Mahalanobis standardisée et détection des valeurs aberrantes

Une analyse en composante principale (ACP) a été effectuée sur le jeu de données principal afin d'en réduire la dimensionnalité tout en conservant la structure. Le résultat est illustré dans la Figure 5. A partir de cette ACP deux groupes distincts ont émergé. Ils correspondent aux fromages frais et aux fromages affinés. L'objet de l'étude se penchant sur les caractéristiques organoleptiques et les fromages n'étant pas consommés frais, les résultats concernant les fromages frais sont dès à présent écartés.

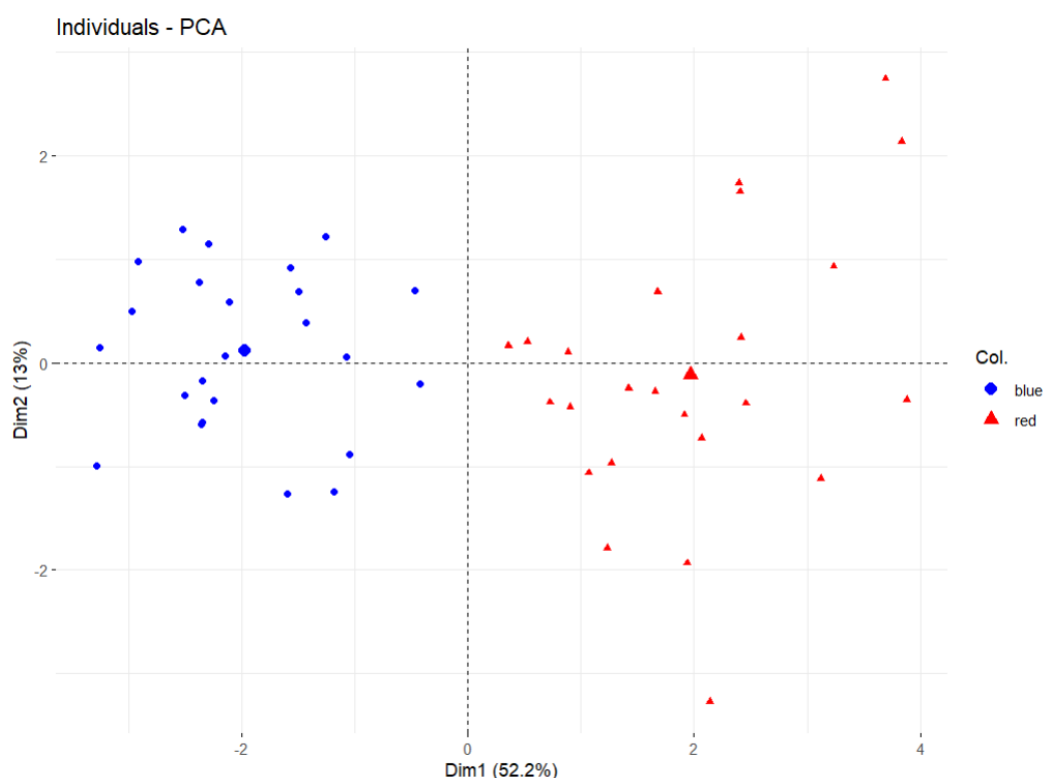


Figure 5 : ACP des données liées au fromage. En bleu les fromages frais et en rouge les fromages affinés.

Afin de corroborer avec cette décision les distances de Mahalanobis standardisées ont été représentées sur l'histogramme de la Figure 6, mettant en évidence des valeurs supérieures à 4 qui correspondent à des valeurs aberrantes : des outliers. Le même test a été effectué sur les données des fromages affinés en mettant de côté les résultats obtenus pour les fromages frais. Il est représenté sur la Figure 7. Les distances de Mahalanobis sont toutes inférieures à 2,5 ce qui confirme l'absence d'outliers. Les Figure 6 et Figure 7 permettent de corroborer le choix d'isoler les fromages frais des données étudiées.

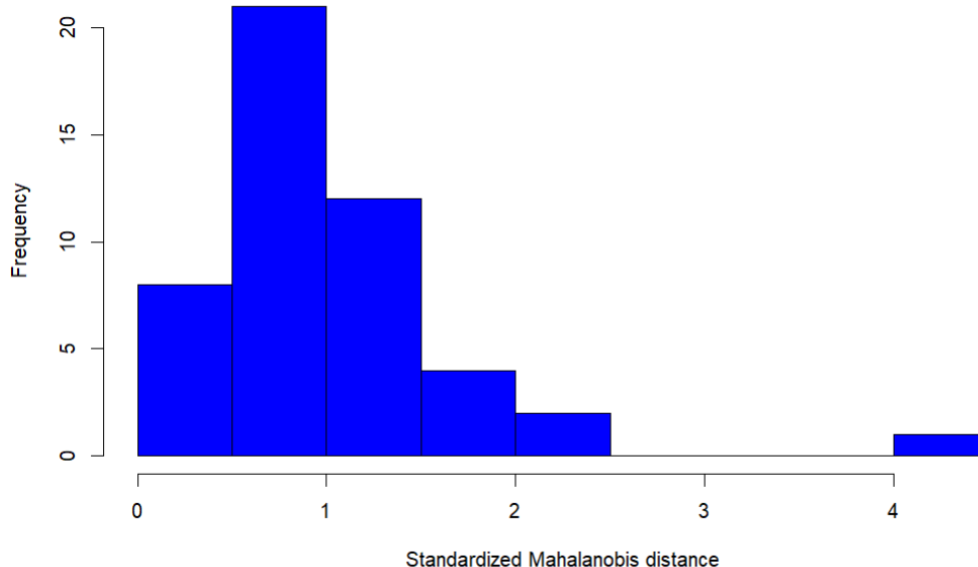


Figure 6 : Histogramme des distances de Mahalanobis standardisées des données liées aux fromages frais et affinés

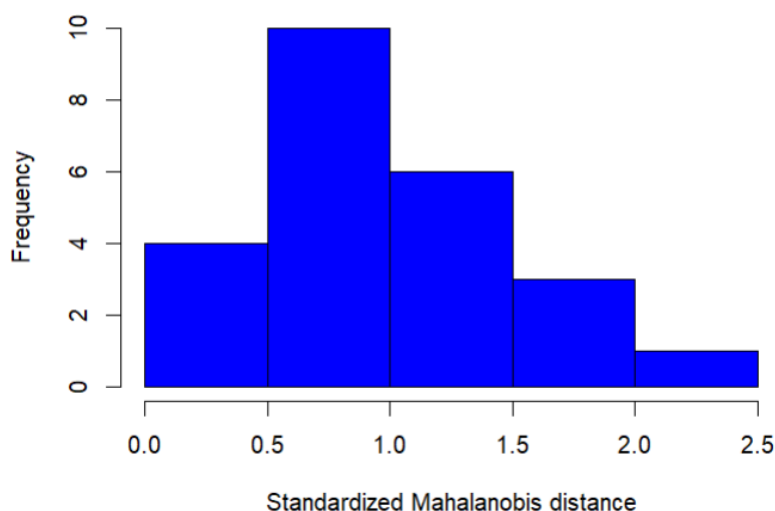


Figure 7 : Histogramme des distances de Mahalanobis standardisées des données liées aux fromages affinés

4.2.2. Anova 2 facteurs croisés sur les données des fromages affinés

L'ensemble des p-valeurs obtenues pour le test de Brown-Forsythe est supérieur à 0,05. L' H_0 est donc validée, les variances sont homogènes. En raison du nombre restreint de données dans l'échantillon, la normalité des données n'a pas pu être formellement testée de manière robuste. Les données sont toutefois considérées comme normales.

Concernant les résultats de l'analyse de la variance à 2 facteurs croisés, il n'y a pas d'effet significatif du traitement thermique et ou du lot sur l'Aw, l'Hardness Bite1 ou 2, l'élasticité (springness), ni sur les pourcentages de protéine, de matière grasse ou de cendre des différents types de fromage. Les p-valeurs sont toutes supérieures à 0,05 (voir Tableau 10).

Tableau 10 : Tableau rassemblant les résultats des différentes p-valeur des ANOVA 2 facteurs croisés sur les données des fromages affinés

p-valeur	PH	Aw	Indice de jaunissement	Hardness bite 1 (N)	Hardness bite 2 (N)	Springness (mm)	Protéine (%)	MG (%)	Cendre (%)
Traitement du lait	0,8975	0,3640	0,0093	0,4360	0,3670	0,0554	0,3330	0,0687	0,8150
Lot	0,0190	0,1150	0,6241	0,9470	0,6970	0,0590	0,6610	0,1449	0,7240
Traitement du lait: Lot	0,8950	0,6160	0,0122	0,3400	0,2330	0,7235	0,2570	0,1100	0,1630

L'interaction entre les traitements thermiques et le lot a un effet significatif sur le jaunissement (p-valeur = 0,0122). Le nombre de répétitions n'étant que de 1 pour ce facteur nous ne pouvons pas considérer cette interaction comme significative. A contrario, pour la variable « traitement du lait » uniquement, le n est égal à 6. L'ANOVA à 1 facteur effectuée sur le traitement du lait révèle que c'est le traitement thermique qui a un effet significatif sur l'indice de jaunissement et donc sur la couleur du fromage. La Figure 8 illustre l'effet du traitement thermique sur la couleur du fromage. L'intensité de la couleur jaune diminue avec l'augmentation de la température du traitement thermique appliqué au lait avant sa transformation en fromage.

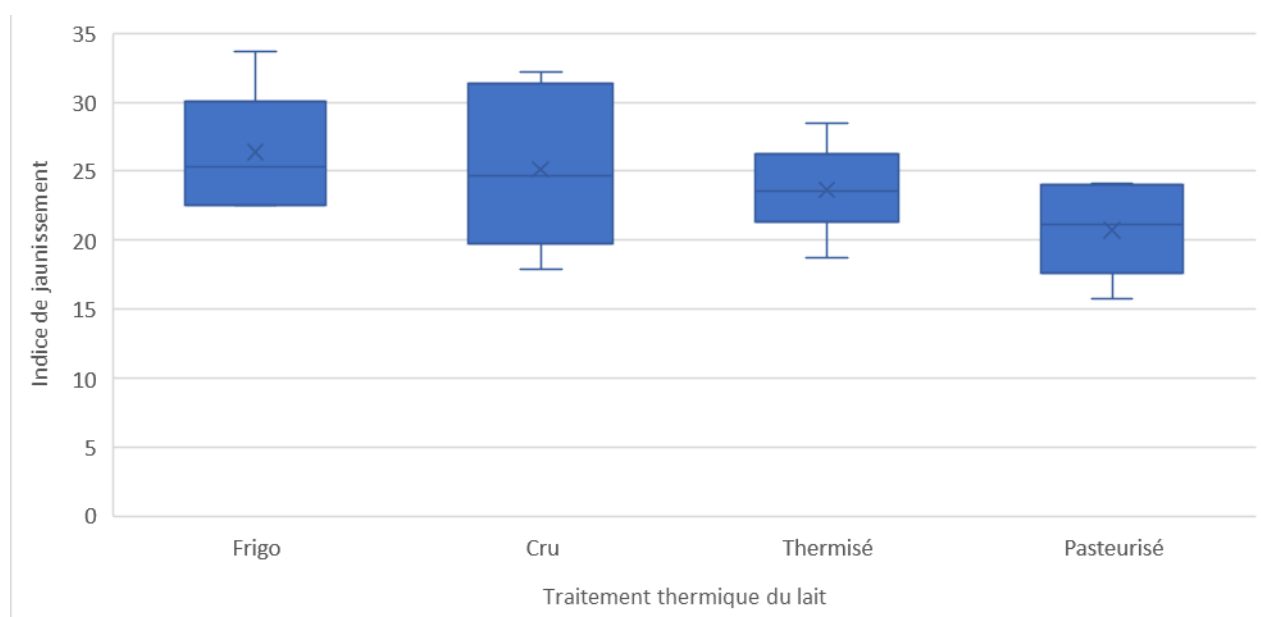


Figure 8 : Box Plot de la variabilité de l'indice de jaunissement du fromage en fonction du traitement thermique du lait. Le n est égal à 6 pour chaque traitement thermique.

Le traitement thermique du lait ainsi a un effet presque significatif sur l'élasticité. En effet sa p-valeur est égale à 0,0554 ce qui est supérieur à 0,05 mais suffisamment proche pour que nous nous y intéressions. Il est observé que l'élasticité du fromage augmente avec l'augmentation de la température du traitement thermique du lait (voir Figure 9). Cette augmentation de l'élasticité est liée au fait que la composition de toutes les fractions protéiques individuelles sont modifiées avec l'augmentation de la température appliquée au lait (Čurlej et al., 2022). Ces changements dans la composition des fractions protéiques individuelles du lait peuvent influencer les propriétés fonctionnelles du lait, ce qui à son tour, peut affecter la qualité du fromage produit à partir de ce lait. En particulier, le processus de dénaturation des protéines de lactosérum peut conduire à la formation d'un complexe protéine de lactosérum-caséine (Fekadu et al., 2005; Liu et al., 2019; Čurlej et al., 2022).

Ce complexe peut avoir des implications sur la structure et la texture du fromage fabriqué à partir de ce lait. La dénaturation des protéines peut altérer leurs propriétés fonctionnelles, telles que leur capacité à former des réseaux protéiques et à retenir l'eau (Liu et al., 2019).

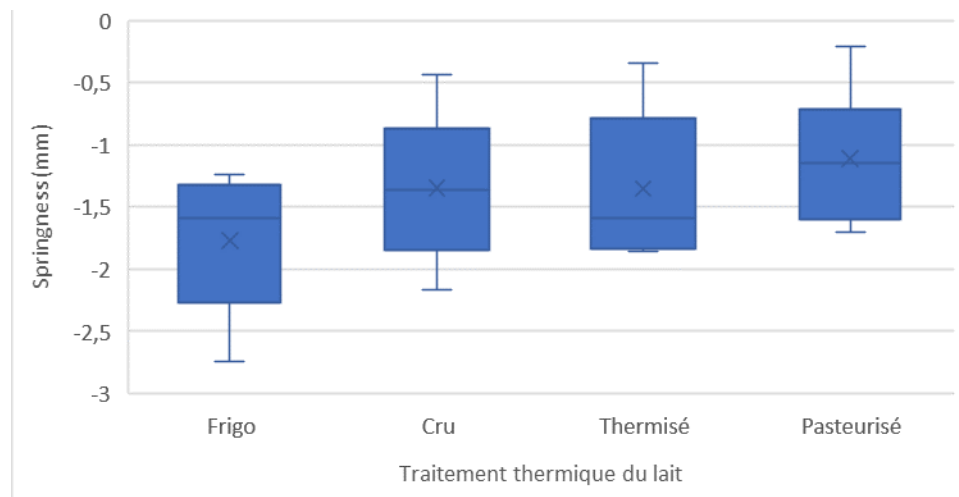


Figure 9 : Box Plot de la variabilité de l'élasticité (springness (mm)) du fromage en fonction du traitement thermique du lait. Le n est égal à 6 pour chaque traitement thermique.

4.3. Analyse métagénétique

Cette section explique les résultats obtenus lors des analyses des flores du lait et des fromages affinés du lot 3.

4.3.1. La flore du lait de chèvre

Les proportions relatives de chaque embranchement identifié dans la flore du lait sont illustrées dans la Figure 10. Firmicutes et Proteobacteria sont les embranchements prédominants sur la flore. Des résultats similaires ont été reportés dans d'autres études (Zhang et al., 2017; Toquet et al., 2021).

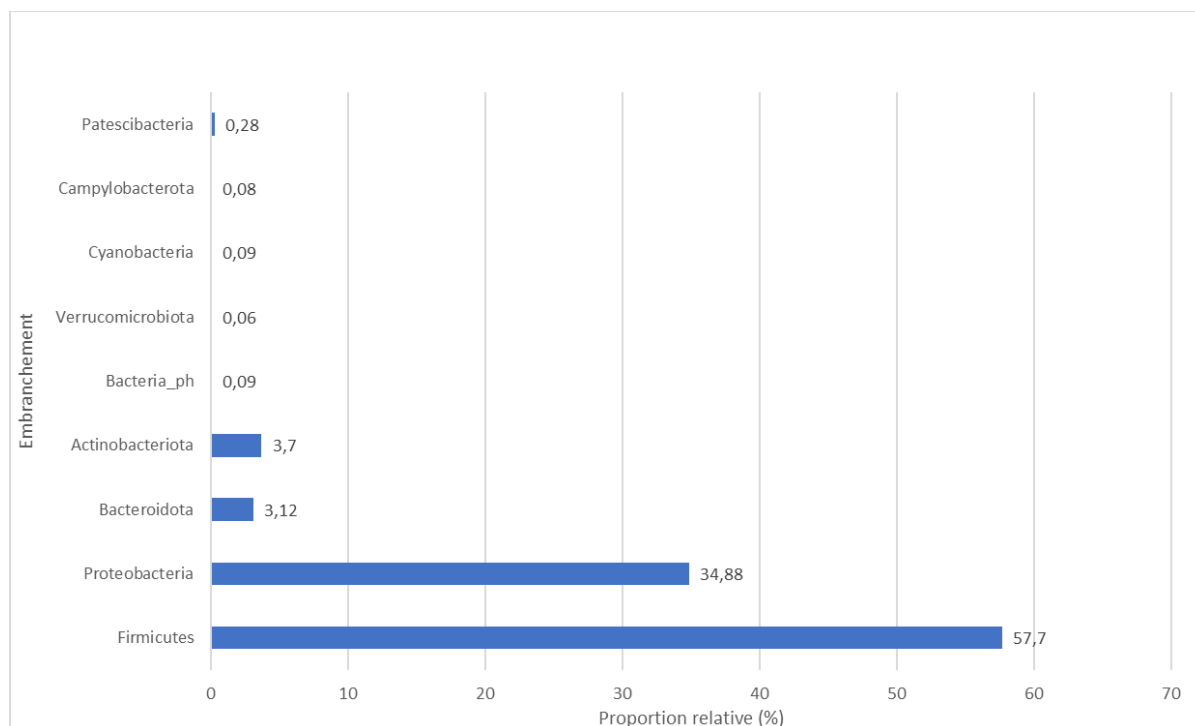


Figure 10 : Graphique des proportions relatives de chaque embranchement des bactéries contenues dans le lait du lot 3 (n=2)

Lors de l'analyse métagénétique, 189 genres ont été identifiés dans la flore du lait. Seules les données relatives aux individus présentant une fréquence de présence supérieure à 0,5 % ont été incluses dans le Tableau 11. Ces 13 genres représentent plus de 90% de la diversité contenue dans le lait. *Staphylococcus* est le genre le plus présent dans notre lot de lait, ce qui se vérifie dans la littérature (Toquet et al., 2021).

Tableau 11 : Tableau des présences relatives des bactéries contenues dans le lait du lot 3, seules les données relatives aux individus présentant une fréquence de présence supérieure à 0,5 % ont été illustrées dans le tableau. Le n est égal à 2 et les données de présence relative sont les moyennes de ces 2 répétitions de protocole

Embranchement	Classe	Ordre	Famille	Genre	Présence relative (%)
Firmicutes	Bacilli	Staphylococcales	Staphylococcaceae	Staphylococcus	51,74
Proteobacteria	Gammaproteobacteria	Enterobacterales	Enterobacteriaceae	Escherichia-Shigella	21,83
Proteobacteria	Gammaproteobacteria	Pseudomonadales	Moraxellaceae	Acinetobacter	3,4
Proteobacteria	Gammaproteobacteria	Pseudomonadales	Pseudomonadaceae	Pseudomonas	2,7
Bacteroidota	Bacteroidia	Flavobacteriales	Weeksellaceae	Chryseobacterium	2,28
Actinobacteriota	Actinobacteria	Corynebacteriales	Corynebacteriaceae	Corynebacterium	2,22
Proteobacteria	Gammaproteobacteria	Enterobacterales	Enterobacterales_fa	Enterobacterales_ge	1,52
Firmicutes	Bacilli	Exiguobacterales	Exiguobacteraceae	Exiguobacterium	1,3
Proteobacteria	Gammaproteobacteria	Enterobacterales	Enterobacteriaceae	Enterobacteriaceae_ge	0,85
Proteobacteria	Gammaproteobacteria	Xanthomonadales	Xanthomonadaceae	Stenotrophomonas	0,83
Firmicutes	Bacilli	Lactobacillales	Streptococcaceae	Lactococcus	0,8
Proteobacteria	Alphaproteobacteria	Rhizobiales	Rhizobiaceae	Allorhizobium-Neorhizobium-Pararhizobium-Rhizobium	0,69
Firmicutes	Bacilli	Staphylococcales	Staphylococcaceae	Jeotgalicoccus	0,51

4.3.2. La flore du fromage

La diversité de genre caractérisant le FAF3 est constituée de 17 genres, celle du FAC3 de 13 genres, celle du FAT3 de 17 genres et celle du FAP3 de six genres (voir Tableau 12). Toutes les flores sont dominées par les *Lactococcus* qui proviennent du ferment « Flora Danica ». La présence de *Leuconostoc* est également expliquée par le ferment « Flora Danica » utilisé pour la transformation du lait.

Le seul genre potentiellement dangereux pour l'espèce humaine est le genre *Shigella*. En effet, dans tous les autres genres détectés il y a certaines espèces pathogènes et d'autres qui ne le sont pas. *Shigella* est un genre de bactéries gram-négatives responsables de la shigellose, également connue sous le nom de dysenterie bacillaire (Ud-Din et al., 2014). La shigellose est une infection intestinale pouvant provoquer des symptômes tels que la diarrhée sévère, la fièvre, les crampes abdominales voire des complications plus graves (Kotloff et al., 2018).

Une autre donnée suscite de l'attention : la présence relative du *Lactococcus* est plus basse dans le FAF3 que chez les autres fromages dû à la grande quantité d'autres bactéries présentes. Les *Lactococcus* sont relativement moins présents le FAF3 que dans les autres types de fromages.

La présence relative élevée d'entérobactéries chez le FAF3 est interpellante. Toutes les entérobactéries ne sont pas pathogènes mais il ne faut pas oublier qu'elles proviennent du système digestif et sont donc présentes à cause d'une contamination croisée. Les entérobactéries étaient présentes dans le lait, et se sont développées lors du passage du lait à 4°C pendant une nuit.

Tableau 12 : Tableau des présences relatives des bactéries contenues dans les fromages de chaque type de traitement thermique du lot 3, le n est égal à 2 et les données de présence relative sont les moyennes de ces 2 répétitions de protocole

Embranchement	Classe	Ordre	Famille	Genre	FAF3	FAC3	FAT3	FAP3
Firmicutes	Bacilli	Lactobacillales	Streptococcaceae	Lactococcus	73,21	95,41	94,66	98,86
Firmicutes	Bacilli	Staphylococcales	Staphylococcaceae	Staphylococcus	0,04	0,01	0,09	0
Proteobacteria	Gammaproteobacteria	Enterobacterales	Enterobacteriaceae	Enterobacteriaceae_ge	24,68	0	4,15	0
Proteobacteria	Gammaproteobacteria	Enterobacterales	Enterobacteriaceae	Escherichia-Shigella	0	0	0,01	0
Firmicutes	Bacilli	Lactobacillales	Lactobacillaceae	Leuconostoc	0,87	4,41	0,54	1,09
Proteobacteria	Gammaproteobacteria	Pseudomonadales	Moraxellaceae	Acinetobacter	0,06	0	0,14	0
Proteobacteria	Gammaproteobacteria	Pseudomonadales	Pseudomonadaceae	Pseudomonas	0,01	0,01	0	0
Proteobacteria	Gammaproteobacteria	Enterobacterales	Enterobacterales_fa	Enterobacterales_ge	0,59	0	0,24	0
Proteobacteria	Gammaproteobacteria	Xanthomonadales	Xanthomonadaceae	Stenotrophomonas	0	0,01	0	0
Proteobacteria	Gammaproteobacteria	Enterobacterales	Enterobacteriaceae	Raoultella	0,27	0	0,03	0
Firmicutes	Clostridia	Christensenellales	Christensenellaceae	Christensenellaceae_R-7_group	0	0,02	0	0
Proteobacteria	Alphaproteobacteria	Rhizobiales	Rhizobiaceae	Rhizobiaceae_ge	0	0,01	0	0
Firmicutes	Bacilli	Lactobacillales	Streptococcaceae	Streptococcus	0,01	0	0,01	0
Firmicutes	Bacilli	Lactobacillales	Enterococcaceae	Enterococcus	0,09	0,03	0,03	0
Proteobacteria	Gammaproteobacteria	Burkholderiales	Comamonadaceae	Comamonas	0	0	0	0,01
Bacteria_ph	Bacteria_cl	Bacteria_or	Bacteria_fa	Bacteria_ge	0,05	0	0,01	0,02
Firmicutes	Bacilli	Lactobacillales	Lactobacillales_fa	Lactobacillales_ge	0,03	0,01	0,02	0,01
Firmicutes	Clostridia	Oscillospirales	Oscillospirales_fa	Oscillospirales_ge	0	0	0,01	0
Proteobacteria	Gammaproteobacteria	Enterobacterales	Erwiniaceae	Pantoea	0,01	0	0	0
Firmicutes	Bacilli	Lactobacillales	Lactobacillaceae	Lactocaseibacillus	0,02	0,04	0,03	0
Proteobacteria	Gammaproteobacteria	Enterobacterales	Yersiniaceae	Serratia	0,04	0	0	0
Firmicutes	Bacilli	Bacillales	Bacillaceae	Bacillus	0,01	0,02	0	0
Proteobacteria	Gammaproteobacteria	Enterobacterales	Erwiniaceae	Erwiniaceae_ge	0	0	0,01	0
Firmicutes	Bacilli	Lactobacillales	Streptococcaceae	Streptococcaceae_ge	0	0,01	0,01	0,01
Firmicutes	Bacilli	Lactobacillales	Lactobacillaceae	Levilactobacillus	0,01	0	0	0
Proteobacteria	Gammaproteobacteria	Burkholderiales	Hydrogenophilaceae	Tepidiphilus	0	0,01	0	0
Proteobacteria	Gammaproteobacteria	Enterobacterales	Enterobacteriaceae	Yokenella	0	0	0,01	0

La caractérisation de la flore n'allant que jusqu'au genre, nous ne pouvons pas conclure avec certitude que l'augmentation de la température a permis d'assurer une meilleure sécurité alimentaire. Certaines bactéries d'un même genre peuvent être pathogènes ou non en fonction de leur espèce respective. La pathogénicité dépend de divers facteurs, tels que la présence de virulence spécifique et la résistance aux antibiotiques (de Oliveira et al., 2017). La plupart des bactéries détectées peuvent être inoffensives dans de nombreuses situations et peuvent même avoir des rôles bénéfiques dans certains contextes.

Cependant la quantité de genre décrivant la diversité de chaque fromage peut en partie répondre à la question. Une diversité bactérienne plus élevée peut inclure des micro-organismes pathogènes responsables de la dégradation de qualité du fromage ou encore du changement de couleur, ce qui rend la réduction de la flore microbienne naturelle du lait essentielle pour garantir la qualité et la sécurité des produits laitiers (Wilkinson et al., 2020). Plus cette quantité est élevée, plus le risque de présence d'une espèce pathogène présente est élevé. Les fromages les plus stables sont donc ici le FAC3 et le FAP3.

Flora Danica n'a pas su s'imposer autant dans le FAF3 que dans les autres. FAF3 est aussi le fromage ayant la plus grande diversité de genre présent. C'est donc le traitement thermique qui induit le fromage le moins stable en termes de goût et d'odeur ainsi que le fromage comportant le plus de risque au niveau de la sécurité alimentaire.

Le FAP3 est le fromage ayant le moins de risque au niveau sanitaire mais est peut-être également le fromage avec le moins de caractère. Le FAC3 est un fromage comportant une quantité de diversité moyenne et ayant une présence relative de *Lactococcus*. Il pourrait être un bon compromis entre le goût et la sécurité.

4.4. Analyse des composés volatils

Les résultats des analyses des composés volatils sont représentés dans le Tableau 13. Les chromatogrammes sont présents dans les Annexe 2, Annexe 3, Annexe 4 et Annexe 5.

Un second tableau présentant les moyennes des aires sous la courbe a été généré, cette fois en utilisant un logarithme de base 10, afin d'améliorer la clarté et la lisibilité des données (voir Tableau 14).

Tableau 13 : Tableau des moyennes, écart-types et RSD des composés volatils présents dans les différents types de fromage (n=2). Les valeurs sont des aires sous la courbe, exprimées en UA (unité arbitraire).

Fromage		Dioxyde de carbone	Éthanol	Acétate de B-méthoxyéthyle	Sulfure de diméthyle	1-Propanol	Acide acétique	2-Butanone	1-Propanol, 2-méthyl-	Butanal, 3-méthyl-	2-Pentanone
FAF 3	Moyenne	10 432 650,50	34 149 729,00	32 252 027,00	5 228 626,00	731 266,00	1 042 295,50	440 592,50	2 721 580,00	4 399 343,50	8 845 143,50
	Ecart-type	49 222,41	236 279,73	430 734,10	45 790,82	370,52	62 278,43	2 107,89	3 190,47	18 672,57	8 027,78
	RSD (%)	0,47	0,69	1,34	0,88	0,05	5,98	0,48	0,12	0,42	0,09
FAC 3	Moyenne	11 605 919,00	39 961 490,00	14 902 789,50	0,00	677 187,00	8 441 627,00	0,00	3 247 516,50	1 998 951,50	29 512 403,50
	Ecart-type	78 247,02	236 419,74	440 292,06	0,00	16 911,17	93 108,99	0,00	47 557,88	19 378,26	659 090,70
	RSD (%)	0,67	0,59	2,95	0,00	2,50	1,10	0,00	1,46	0,97	2,23
FAT 3	Moyenne	11 526 400,50	32 366 405,00	17 153 815,50	0,00	644 729,00	9 763 281,00	0,00	1 802 921,50	3 881 602,50	32 147 444,00
	Ecart-type	132 634,14	566 996,40	366 627,09	0,00	10 343,56	52 513,99	0,00	93 850,75	271 615,98	355 536,12
	RSD (%)	1,15	1,75	2,14	0,00	1,60	0,54	0,00	5,21	7,00	1,11
FAP 3	Moyenne	10 836 687,00	29 752 562,00	15 001 142,00	0,00	1 304 475,00	317 658,50	1 908 750,50	2 800 023,00	2 718 715,50	16 136 884,00
	Ecart-type	53 946,59	193 419,16	31 948,50	0,00	6 812,27	952,47	3 681,91	43 192,91	14 943,29	67 241,61
	RSD (%)	0,50	0,65	0,21	0,00	0,52	0,30	0,19	1,54	0,55	0,42
Fromage		Acétoïne	1-Butanol, 3-méthyl- + 2-Méthyl	Acide butanoïque	2-Heptanone	2-Heptanol	Acide hexanoïque	8-Nonén-2-one	2-Nonanone	Acide octanoïque	2-Undécaneone
FAF 3	Moyenne	270 317,00	8 911 670,00	8 109 027,00	8 900 993,50	2 326 467,50	988 718,00	628 969,50	24 901 305,50	792 270,00	3 934 346,00
	Ecart-type	2 333,45	27 185,43	20 971,37	20 141,94	50 951,99	16 191,33	10 584,68	25 663,03	4 403,86	13 427,96
	RSD (%)	0,86	0,31	0,26	0,23	2,19	1,64	1,68	0,10	0,56	0,34
FAC 3	Moyenne	950 237,50	12 631 095,00	3 969 038,50	14 545 412,00	1 560 548,50	1 453 633,00	336 009,50	11 047 003,00	543 647,00	592 452,00
	Ecart-type	6 943,08	306 680,70	95 057,07	494 539,17	61 271,51	72 008,93	21 875,76	84 543,10	39 622,02	16 025,87
	RSD (%)	0,73	2,43	2,39	3,40	3,93	4,95	6,51	0,77	7,29	2,71
FAT 3	Moyenne	1 305 468,50	9 820 569,50	4 481 031,00	9 166 323,00	1 899 643,00	206 418,50	212 328,50	8 973 432,00	458 806,50	881 706,00
	Ecart-type	26 894,81	34 313,77	129 222,35	138 563,23	64 215,20	8 555,28	17 906,07	109 170,22	12 843,18	20 318,01
	RSD (%)	2,06	0,35	2,88	1,51	3,38	4,14	8,43	1,22	2,80	2,30
FAP 3	Moyenne	469 218,00	9 657 402,00	1 147 092,50	9 096 377,50	1 425 764,50	1 599 755,00	870 614,00	8 300 021,00	459 154,00	591 420,00
	Ecart-type	9 984,35	72 419,05	56 764,41	45 563,84	42 831,58	30 131,23	999 559,07	63 216,76	13 580,69	15 235,32
	RSD (%)	2,13	0,75	4,95	0,50	3,00	1,88	114,81	0,76	2,96	2,58

Tableau 14 : Log en base 10 des moyennes (n=2) des composés volatils présents dans les différents types de fromages (n=2). Les valeurs sont des aires sous la courbe UA (Unité Arbitraire).

	<div> Dioxyde de carbone Éthanol Acétate de B-méthoxyéthyle Sulfure de diméthyle 1-Propanol Acide acétique 2-Butanone 1-Propanol, 2-méthyl- Butanal, 3-méthyl- 2-Pentanone Acétoïne 1-Butanol, 3-méthyl- + 2-Méthyl Acide butanoïque 2-Heptanone 2-Heptanol Acide hexanoïque 8-Nonén-2-one 2-Nonanone Acide octanoïque 2-Undécaneone </div>																			
FAF 3	7,02	7,53	7,51	6,72	5,86	6,02	5,64	6,43	6,64	6,95	5,43	6,95	6,91	6,95	6,37	6,00	5,80	7,40	5,90	6,59
FAC 3	7,06	7,60	7,17	0,00	5,83	6,93	0,00	6,51	6,30	7,47	5,98	7,10	6,60	7,16	6,19	6,16	5,53	7,04	5,74	5,77
FAT 3	7,06	7,51	7,23	0,00	5,81	6,99	0,00	6,26	6,59	7,51	6,12	6,99	6,65	6,96	6,28	5,31	5,33	6,95	5,66	5,95
FAP 3	7,03	7,47	7,18	0,00	6,12	5,50	6,28	6,45	6,43	7,21	5,67	6,98	6,06	6,96	6,15	6,20	5,94	6,92	5,66	5,77

Les cases du Tableau 14 ont été colorées en jaune lorsque la différence entre la plus grande et la plus petite était supérieure à 1.

Peu de composés, 3 sur 20 (le sulfure de diméthyle, l'acide acétique et le 2-butanone), ont une quantité remarquablement différente en fonction du type de traitement thermique qu'a subi le lait avant sa transformation. N'ayant à disposition que les aires sous la courbe des différents COV présent dans chaque fromage, la valeur d'activité olfactive n'a pas pu être déterminée. Pour ce faire il aurait fallu procéder à la semi-quantification des composés volatils. Cette semi-quantification est calculée par rapport à l'étalon interne injecté. La détermination de l'OAV (valeur d'activité olfactive) est calculée en fonction de la concentration du composé considéré dans l'échantillon divisée par son seuil de perception orthonasale dans l'eau. Les seuils de perception orthonasale dans l'eau sont référencés dans la littérature (Suffys et al., 2023; "The Good Scents Company Information System," December-29-2023). Les composés organiques volatils ne participent pas à l'odeur et donc au goût de la même manière. En effet le nez humain n'est pas sensible de la même manière aux différentes molécules. L'OAV permet d'étudier la contribution des composés à l'arôme de la denrée alimentaire (Dias et al., 1999). Il faut donc garder en tête que la présence ou l'absence d'un composé peut être impactante au niveau de l'arôme du fromage mais l'impact de cette présence ou absence n'est pas la même en fonction du type de composé.

Le premier composé ayant une présence remarquable est le sulfure de diméthyle (DSM), il est présent à 6,72 log₁₀ UA chez FAF3 alors qu'il est absent chez les autres types de fromage (voir Tableau 14). Il est principalement caractérisé par une odeur de chou cuit, d'ail et de soufre à des concentrations élevées (Gou et al., 2023; Suffys et al., 2023). Sa présence peut également indiquer une infection bactérienne dans le processus de brassage (Szlavko et al., 1979). Plus particulièrement dans le fromage, le DMS est un composé produit par une grande quantité de bactéries, notamment le *Geotrichum candidum* ainsi que le *Lactococcus lactis* (Dias et al., 1999; Spinnler et al., 2001) utilisées pour l'emprésurage. La particularité des résultats c'est que la production de ce composé soufré s'est produite à un temps d'affinage de 14 jours. Or, cette production s'observe généralement à un temps d'affinage plus long (37 jours) (Arfi et al., 2004). Le DMS pouvant être produit par une grande variété de bactéries, la production précoce de DMS dans le FAF3 est due à la flore bactérienne présente dans le lait refroidi pendant une nuit qui se développe également dans le fromage. La différence majeure entre la flore du FAF et des autres est la proportion de flore fécale qui est plus grande chez FAF que dans les autres fromages. Le DSM étant produit par une grande variété de bactéries, il pourrait venir de cette flore fécale.

Le deuxième composé remarquable est l'acide acétique. Il est moins présent dans le FAF3 que dans le FAF3 mais il est présent de manière plus évidente dans le FAC3 et le FAT3. L'acide acétique est un composé commun du fromage qui est issu d'une fermentation ou d'une oxydation (Olson, 1990). Il est connu pour avoir un goût aigre (Gou et al., 2023). Les fromages FAC3 et FAT3 pourraient donc être plus aigres que le FAF3 et encore plus que le FAC3.

Le troisième composé remarquable est le 2-butanone. C'est également un composé commun dans le fromage. Il résulte d'une interaction complexe de bactéries qui commence dans le lait avant l'emprésurage et qui se poursuit dans le fromage (Keen et al., 1974). Ce composé peut être créé via différents processus (Ghiaci et al., 2014). Le 2-butanone peut, par exemple, être créé en transformant du citrate en 2,3-butandiol et ensuite en 2-butanone. Ces deux étapes ne sont pas toujours effectuées par les mêmes micro-organismes (Keen et al., 1974). Le 2-butanone est problématique dans le milieu de l'agroalimentaire car il altère le goût de certains aliments (Ghiaci et al., 2014). En effet, il a une odeur de fromage bleu (Niimi et al., 2015) qui peut être dérangeante dans certains cas. Dans cette

étude sur le fromage cet arôme pourrait être recherché. Le FAF3 et le FAP3 contiennent tous deux une quantité de 2-butanone non négligeable.

Les interactions entre les différents composés, leur concentration ainsi que leurs seuils de perception orthonasale doivent être pris en compte pour évaluer le profil aromatique total des différents fromages. Les analyses effectuées mettent en avant certaines petites différences entre les profils aromatiques des différents fromages du lot 3.

4.5. Dégustation en profil flash

Pour en revenir sur la section 3.12 avec la discussion des panelistes entre les deux dégustations, il en ressort dix-neuf descripteurs :

- « Tranchabilité » ou la facilité de coupe, le fromage ne se désintègre pas et ne colle pas au couteau,
- Moelleux du centre du fromage,
- Epaisseur de la croûte,
- Adhérence de la croûte,
- Présence d'une « intercroûte », l'intercroûte a été définie comme la partie moelleuse du fromage qui se situe entre la croûte et le centre du fromage. C'est la partie d'un fromage à pâte molle qui peut devenir crémeuse avec le temps,
- Couleur (0=blanc, 5=jaune)
- Homogénéité du centre,
- Puissance de l'odeur,
- Présence d'une odeur de chèvre,
- Présence d'une odeur de moisi,
- Palatabilité,
- Humidité,
- Intensité du goût de la croûte,
- Intensité du goût du centre,
- Intensité de l'ensemble,
- Longueur en bouche,
- Piquant,
- Salinité.

Tous les résultats (voir Annexe 6) ne seront pas discutés. La raison est que la méthode de dégustation en profil flash n'est pas propice à la réalisation d'une étude statistique approfondie en raison d'un nombre de panélistes insuffisant. La faible quantité de panélistes ne permet pas de lisser les résultats et d'éviter le biais introduit par la subjectivité humaine. Cette étude s'arrêtera à l'analyse visuelle des résultats grâce à une mise en forme conditionnelle du tableau de données dans lequel un gradient de vert a été utilisé (en vert foncé les valeurs les plus élevées et en blanc les plus faibles). Le reste des résultats sera présent dans les annexes à la page 60.

Le premier descripteur a montré qu'une différence entre les types de fromage est la « tranchabilité » (voir Tableau 15). Ils ont défini ce descripteur comme une facilité à découper le fromage : il ne colle pas au couteau et la coupe est nette. Le FAF a été décrit comme plus tranchable que les autres.

Tableau 15 : Tableau des résultats de dégustation concernant le descripteur "Tranchabilité". Dans la colonne de gauche le numéro de la cabine et dans la colonne de droite correspondante, la note attribuée par le paneliste pour le fromage correspondant.

Tranchabilité			
FAF		FAC	
1	3	1	4
2	4	2	1
3	5	3	3
4	5	4	2
5	5	5	1
6	4	6	1
7	5	7	2
8	3	8	2
FAT		FAP	
1	5	1	2
2	0	2	2
3	2	3	0
4	2	4	1
5	3	5	1
6	2	6	2
7	0	7	4
8	1	8	2

Concernant la croûte du fromage (voir Tableau 16), un lien entre la présence d'intercroûte et l'adhérence de la croûte est observé. Quand la croûte adhère le plus au fromage alors aucune intercroûte n'est observée. Le FAP est le fromage avec l'intercroûte la plus importante.

Tableau 16 : Tableaux des résultats de dégustation concernant les descripteurs « Adhérence de la croûte » et présence d'intercroûte ». Dans la colonne de gauche le numéro de la cabine et dans la colonne de droite correspondante, la note attribuée par le paneliste correspondant.

Adhérence de la croûte			
FAF		FAC	
1	2	1	1
2	2	2	4
3	0	3	0
4	5	4	1
5	4	5	3
6	1	6	2
7	1	7	3
8	5	8	3
FAT		FAP	
1	5	1	3
2	5	2	2
3	5	3	0
4	3	4	1
5	4	5	3
6	2	6	4
7	5	7	2
8	5	8	4

Présence d'une intercroûte			
FAF		FAC	
1	2	1	3
2	2	2	3
3	2	3	4
4	2	4	4
5	3	5	4
6	2	6	2
7	1	7	3
8	1	8	3
FAT		FAP	
1	1	1	4
2	0	2	3
3	0	3	5
4	2	4	5
5	1	5	5
6	0	6	4
7	0	7	4
8	1	8	2

Les résultats concernant la couleur du fromage décrit dans le paragraphe 0 sont vérifiés grâce à la dégustation (voir Tableau 17). Les panelistes ont décrit une diminution de l'intensité de la couleur jaune avec l'augmentation de la température appliquée au lait avant sa transformation.

Tableau 17 : Tableau des résultats de dégustation concernant le descripteur "Couleur". Dans la colonne de gauche le numéro de la cabine et dans la colonne de droite correspondante, la note attribuée par le paneliste correspondant.

Couleur (0=blanc, 5=jaune)			
FAF		FAC	
1	5	1	4
2	4	2	4
3	5	3	4
4	4	4	4
5	4	5	2
6	4	6	4
7	3	7	2
8	3	8	2
FAT		FAP	
1	2	1	1
2	1	2	2
3	1	3	0
4	2	4	2
5	2	5	1
6	1	6	1
7	0	7	1
8	1	8	1

Les résultats donnés par les panelistes concernant les différents aspects liés au gout, aux arômes et aux odeurs étaient moins tranchés. Ils ont trouvé que l'odeur de chèvre était plus prononcée chez le FAF et qu'il avait une longueur en bouche plus forte (voir Tableau 18). Les FAF et FAC ont selon eux une longueur intermédiaire au FAT et FAP (voir Tableau 18).

Tableau 18 : Tableaux des résultats de dégustation concernant les descripteurs « Odeur chèvre » et « Longueur en bouche ». Dans la colonne de gauche le numéro de la cabine et dans la colonne de droite correspondante, la note attribuée par le paneliste correspondant.

Odeur chèvre			
FAF		FAC	
1	2	1	3
2	1	2	3
3	0	3	5
4	2	4	4
5	1	5	2
6	4	6	0
7	3	7	0
8	2	8	1
FAT		FAP	
1	1	1	4
2	1	2	4
3	0	3	5
4	2	4	4
5	0	5	4
6	2	6	2
7	2	7	5
8	1	8	3

Longueur en bouche			
FAF		FAC	
1	3	1	4
2	4	2	1
3	2	3	4
4	4	4	2
5	3	5	3
6	4	6	5
7	4	7	3
8	2	8	3
FAT		FAP	
1	1	1	5
2	1	2	5
3	3	3	5
4	1	4	3
5	3	5	4
6	1	6	5
7	2	7	4
8	1	8	1

5. Description de la contribution personnelle de l'étudiant

J'ai participé activement à la mise en place du sujet de mon travail de fin d'études. En effet, nous avons couplé mes connaissances et mon expérience en technologie laitière acquises au sein de l'exploitation familiale avec les besoins du laboratoire. J'ai moi-même mis en place le protocole de production de fromage, en prenant en compte les libertés et les limites que le laboratoire m'imposait. Le Professeur Mohamed Ayadi a pour objectif de publier les résultats présentés, ce qui est une belle reconnaissance du travail fourni lors de ces six derniers mois.

Ce travail de fin d'études m'a permis de me former à des analyses que je n'avais jamais eu l'occasion d'expérimenter. Il m'a permis de rattraper mon retard en termes de pratique de laboratoire que j'avais accumulé pendant la crise sanitaire de 2020. L'autonomie avec laquelle j'ai travaillé m'a permis d'améliorer ma rigueur et ma précision.

6. Approfondissement

Un effet du lot sur le pH du fromage a été détecté au point 0 grâce à une p-valeur inférieure à 0,05. Pour comprendre pourquoi et comment le lot de lait, qui est lié au stade de lactation et à la période de l'année, influence le pH du fromage il faudrait étudier les caractéristiques du fromage de chèvre sur une année complète et en faisant plus de répétition de la mesure du pH. Cela n'a pas été fait dans le cadre de cette étude car cela ne faisait pas partie des objectifs de recherche.

Les caractéristiques de la qualité du gel du caillé doivent également être étudiées plus en profondeur. En effet le caillé issu du lait pasteurisé exige l'utilisation d'une étamine. Dans le cas précis de l'utilisation du moule bûchette, aucune étamine adaptée à cette taille de moule n'a été trouvée sur le marché. Cette étape supplémentaire qui est l'utilisation d'une étamine engendre des coûts de main d'œuvre supplémentaires.

Dans ce travail, l'étude des volatils a été effectuée en surface. Pour caractériser les différents types de fromage, la valeur d'activité olfactive devrait être étudiée plus en profondeur. Il faudrait également lier cette valeur d'activité olfactive avec la flore du fromage et du lait. En effet, les groupes de micro-organismes présents dans le lait et ses dérivés sont des indicateurs importants de la santé animale et des échanges microbiens qui ont lieu à travers le réseau complexe impliquant les humains, les animaux et l'environnement. La coordination précise des fonctions métaboliques des micro-organismes constitue la base du processus technologique de fabrication du fromage. Cela inclut le développement des saveurs et des odeurs propres à chaque fromage, ainsi que le maintien de la sécurité biologique des produits laitiers.

7. Conclusion

L'objectif de ce travail était d'étudier les effets du traitement thermique du lait sur les qualités organoleptiques du fromage de chèvre.

Ce travail démontre que le passage du lait au frigo pendant une nuit avant son emprésurage induit un plus grand risque au niveau de la sécurité alimentaire du fromage produit ; en effet la flore bactérienne est plus développée et les ferments utilisés lors de l'emprésurage n'ont pas su s'imposer autant dans ce lot que dans les autres. Il ressort de cette étude que ce type de fromagé était le fromage le moins élastique, le plus « tranchable » et le plus jaune. Ces composantes, couplées avec la présence de sulfure de diméthyle qui donne un goût de chou cuit, d'ail et de soufre, n'en font pas un premier choix en termes d'expérience gustative et de sécurité alimentaire. L'utilisation du lait ayant passé une nuit au réfrigérateur, pour la fabrication du fromage au sein des exploitations wallonnes, se fait

rarement par choix. C'est plus souvent une opération de sauvetage lors de moments d'augmentation de charge de travail importante.

Le fromage de chèvre au lait pasteurisé est le fromage comportant le moins de risque au niveau de la sécurité alimentaire. Il ne dégage pas de sulfure de diméthyle. C'est aussi le fromage le moins jaune et le plus élastique. La dégustation a révélé que c'est le fromage le plus typé en termes de gout de chèvre et de longueur en bouche.

Les fromages au lait cru sans réfrigération et au lait thermisé ont des caractéristiques intermédiaires aux deux autres. La seule différence notable entre les deux fromages est la présence d'intercroute et l'adhérence de la croute. Le fromage au lait cru sans réfrigération possède une intercroute et une croute moins adhérente. Le fromage au lait thermisé ne possède pas ou peu d'intercroute et sa croute adhère très bien.

Le choix du type de traitement thermique ne s'opère pas uniquement sur base des qualités organoleptiques du fromage produit. Un traitement thermique à température élevée ainsi qu'un refroidissement engendrera des coûts au niveau de l'exploitation que ce soit en terme de main d'œuvre, de coût énergétique ou d'installation. La législation peut aussi évoluer en faveur ou non de la pasteurisation. Le type de clientèle affecte également les décisions que prend l'exploitant. Il est parfois recommandé aux personnes âgées, aux jeunes enfants, aux personnes immunodéprimées ainsi qu'aux femmes enceintes de consommer des fromages fabriqués à partir de lait pasteurisé pour diminuer la présence de certains micro-organismes.

Pour conclure, ce travail a permis de mettre en lumière la complexité de la composition du lait ainsi que de l'effet de l'organisation de ses composants modifiés par le traitement thermique du lait et leur implication sur les caractéristiques du fromage produit. Ce travail a permis également d'ouvrir la voie à de nombreuses perspectives de recherche.

8. Bibliographie

- Akinjogunla O.J., Akaka B.C., Okon M.U., Inyang C.U., Umoh M.I. & Etukudo I.U., 2022. Serological identification, virulence factors, antibiogram and plasmid profile of *Escherichia coli* serotypes in raw milk and pasteurized milk products. *Sci. Afr.* **17**, e01314, DOI:10.1016/j.sciaf.2022.e01314.
- Alliance pour l'élevage pastoral, 2023. Fiche produit - PRÉSURE LA CHEVRETTE - Berthelot.
- Arfi K., Leclercq-Perlat M.-N., Baucher A., Tâche R., Delettre J. & Bonnarme P., 2004. Contribution of several cheese-ripening microbial associations to aroma compound production. *Le Lait* **84**(5), 435–447, DOI:10.1051/lait:2004016.
- Article 14 - Décret n°2007-628 du 27 avril 2007 relatif aux fromages et spécialités fromagères - Légifrance, July-31-2023. .
[https://www.legifrance.gouv.fr/loda/article_lc/LEGIARTI000028202726/2014-01-01/\(31/07/2023\)](https://www.legifrance.gouv.fr/loda/article_lc/LEGIARTI000028202726/2014-01-01/(31/07/2023)).
- Bajpai P., 2023. Chapter 5 - Enzyme production by thermophiles. In: Bajpai, P. ed. *Developments and Applications of Enzymes from Thermophilic Microorganisms*, Progress in Biochemistry and Biotechnology. Academic Press, 63–76.
- Borba K.K.S., Silva F.A., Madruga M.S., de Cássia Ramos do Egypto Queiroga R., de Souza E.L. & Magnani M., 2014. The effect of storage on nutritional, textural and sensory characteristics of creamy ricotta made from whey as well as cow's milk and goat's milk. *Int. J. Food Sci. Technol.* **49**(5), 1279–1286, DOI:10.1111/ijfs.12432.
- Bredie W.L.P., Liu J., Dehlholm C. & Heymann H., 2018. Flash Profile Method. In: *Descriptive Analysis in Sensory Evaluation*. John Wiley & Sons, Ltd, 513–533.
- Brisabois A., Lafarge V., Brouillaud A., Buyser M., Hennechart-Collette C., Garin-Bastuji B. & Thorel M., 1997. [Pathogenic organisms in milk and milk products: the situation in France and in Europe]. *Rev. Sci. Tech. Int. Off. Epizoot.* **16**, 452–71.
- CHR Hansen, 2019. Fiche produit - Flora Danica.
- Cossart P. & Toledo-Arana A., 2008. *Listeria monocytogenes*, a unique model in infection biology: an overview. *Microbes Infect.*, 10th anniversary of Microbes and Infection **10**(9), 1041–1050, DOI:10.1016/j.micinf.2008.07.043.
- Croxen M.A. & Finlay B.B., 2010. Molecular mechanisms of *Escherichia coli* pathogenicity. *Nat. Rev. Microbiol.* **8**(1), 26–38, DOI:10.1038/nrmicro2265.
- Čurlej J., Zajác P., Čapla J., Golian J., Benešová L., Partika A., Fehér A. & Jakabová S., 2022. The Effect of Heat Treatment on Cow's Milk Protein Profiles. *Foods* **11**(7), 1023, DOI:10.3390/foods11071023.
- Dagnaw G., A M., A W. & H K., 2016. Review on Goat Milk Composition and its Nutritive Value. *J. Nutr. Health Sci.* **3**, DOI:10.15744/2393-9060.3.401.
- Danisco, 2010. Fiche produit - PC Neige Lyo 2D.
- Danisco, 2011. Fiche produit - Geotrichum Candidum.
- De la Rosa-Ramos M.A., Arellano-Reynoso B., Hernández-Badillo E., Guerra-Infante F.M., Mancilla-Herrera I., Chaki S.P., Ficht T.A. & Suárez-Güemes F., 2023. Evaluation of the goat cellular immune response to rBtuB-Hia-FlgK peptides from *Brucella melitensis*. *Comp. Immunol. Microbiol. Infect. Dis.* **94**, 101944, DOI:10.1016/j.cimid.2023.101944.
- de Lacerda Roberto J.P., Limeira C.H., da Costa Barnabé N.N., Soares R.R., Silva M.L.C.R., de Barros Gomes A.A., dos Santos Higino S.S., de Azevedo S.S. & Alves C.J., 2021. Antibody detection and molecular analysis for *Mycobacterium avium* subspecies paratuberculosis (MAP) in goat milk: Systematic review and meta-analysis. *Res. Vet. Sci.* **135**, 72–77, DOI:10.1016/j.rvsc.2021.01.004.
- de Oliveira C.A.F., Corassin C.H., Lee S.H.I., Gonçalves B.L. & Barancelli G.V., 2017. Chapter 5 - Pathogenic Bacteria in Cheese, Their Implications for Human Health and Prevention Strategies. In: Watson, R.R., Collier, R.J., Preedy, V.R. eds. *Nutrients in Dairy and Their Implications on Health and Disease*. Academic Press, 61–75.

- de Oliveira G.B., Favarin L., Luchese R.H. & McIntosh D., 2015. Psychrotrophic bacteria in milk: How much do we really know? *Braz. J. Microbiol.* **46**(2), 313–321, DOI:10.1590/S1517-838246220130963.
- Delarue J. & Sieffermann J.-M., 2004. Sensory mapping using Flash profile. Comparison with a conventional descriptive method for the evaluation of the flavour of fruit dairy products. *Food Qual. Prefer.* **15**(4), 383–392, DOI:10.1016/S0950-3293(03)00085-5.
- Devoyod J.J. & Poullain F., 1988. Les Leuconostocs. Propriétés : leur rôle en technologie laitière. *Le Lait* **68**(3), 249–279.
- Dias B. & Weimer B., 1999. Production of volatile sulfur compounds in Cheddar cheese slurries. *Int. Dairy J.* **9**(9), 605–611, DOI:10.1016/S0958-6946(99)00130-2.
- Eliskases-Lechner F., Guéguen M. & Panoff J.M., 2022. *Geotrichum candidum* ☆. In: McSweeney, P.L.H., McNamara, J.P. eds. *Encyclopedia of Dairy Sciences (Third Edition)*. Oxford: Academic Press, 561–568.
- FAO & OMS, 2011. Annexe II - DIRECTIVES POUR LA GESTION DES MESURES DE MAÎTRISE PENDANT ET APRÈS LA TRANSFORMATION. In: *CODEX ALIMENTARIUS - Lait et Produits Laitiers*. 226–227.
- Fekadu B., Soryal K., Zeng S., Hekken D.V., Bah B. & Villaquiran M., 2005. Changes in goat milk composition during lactation and their effect on yield and quality of hard and semi-hard cheeses. *Small Rumin. Res.* **59**(1), 55–63, DOI:10.1016/j.smallrumres.2004.12.003.
- Fresno M.R., Álvarez S., Rodríguez V., Castro N. & Argüello A., 2006. Evaluation of the Effect of Rennet Type on the Texture and Colour of Goats Cheese. *J. Appl. Anim. Res.* **30**(2), 157–160, DOI:10.1080/09712119.2006.9706609.
- Galina M.A., Osnaya F., Cuchillo H.M. & Haenlein G.F.W., 2007. Cheese quality from milk of grazing or indoor fed Zebu cows and Alpine crossbred goats. *Small Rumin. Res.* **71**(1–3), 264–272, DOI:10.1016/j.smallrumres.2006.07.011.
- Ghiaci P., Lameiras F., Norbeck J. & Larsson C., 2014. Production of 2-butanol through meso-2, 3-butanediol consumption in lactic acid bacteria. *FEMS Microbiol. Lett.* **360**(1), 70–75, DOI:10.1111/1574-6968.12590.
- Goetsch A.L., Zeng S.S. & Gipson T.A., 2011. Factors affecting goat milk production and quality. *Small Rumin. Res.*, Special Issue: Products from Small Ruminants **101**(1), 55–63, DOI:10.1016/j.smallrumres.2011.09.025.
- Gou M., Bi J., Chen Q., Wu X., Fauconnier M.-L. & Qiao Y., 2023. Advances and Perspectives in Fruits and Vegetables Flavor Based on Molecular Sensory Science. *Food Rev. Int.* **39**(6), 3066–3079, DOI:10.1080/87559129.2021.2005088.
- Grant I.R., O’Riordan L.M., Ball H.J. & Rowe M.T., 2001. Incidence of Mycobacterium paratuberculosis in raw sheep and goats’ milk in England, Wales and Northern Ireland. *Vet. Microbiol.* **79**(2), 123–131, DOI:10.1016/S0378-1135(00)00344-8.
- Grzeszczuk M., Jadczyk D. & Podsiadło C., 2007. The Effect of Blanching, Freezing and Freeze-Storage on Changes of Some Chemical Compounds Content in New Zealand Spinach. *J. Fruit Ornam. Plant Res.* **66**(1), 95–103, DOI:10.2478/v10032-007-0012-x.
- Guo M., Park Y.W., Dixon P.H., Gilmore J.A. & Kindstedt P.S., 2004. Relationship between the yield of cheese (Chevre) and chemical composition of goat milk. *Small Rumin. Res.* **52**(1), 103–107, DOI:10.1016/S0921-4488(03)00247-5.
- Hellmuth K. & van den Brink J.M., 2013. 11 - Microbial production of enzymes used in food applications. In: McNeil, B., Archer, D., Giavasis, I., Harvey, L. eds. *Microbial Production of Food Ingredients, Enzymes and Nutraceuticals*, Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition. Woodhead Publishing, 262–287.
- Hinrichs J., Wedel C. & Atamer Z., 2022. Heat Treatment of Milk: Sterilization. In: McSweeney, P.L.H., McNamara, J.P. eds. *Encyclopedia of Dairy Sciences (Third Edition)*. Oxford: Academic Press, 659–670.

- Jenness R., 1980. Composition and Characteristics of Goat Milk: Review 1968–19791. *J. Dairy Sci.* **63**(10), 1605–1630, DOI:10.3168/jds.S0022-0302(80)83125-0.
- Johnson M.E., 2014. Mesophilic and Thermophilic Cultures Used in Traditional Cheesemaking. In: *Cheese and Microbes*. John Wiley & Sons, Ltd, 73–94.
- Keen A.R., Walker N.J. & Peberdy M.F., 1974. The formation of 2-butanone and 2-butanol in Cheddar cheese. *J. Dairy Res.* **41**(2), 249–257, DOI:10.1017/S002202990001966X.
- Kondrotiene K., Kasnauskite N., Serniene L., Gözl G., Alter T., Kaskoniene V., Maruska A.S. & Malakauskas M., 2018. Characterization and application of newly isolated nisin producing *Lactococcus lactis* strains for control of *Listeria monocytogenes* growth in fresh cheese. *LWT* **87**, 507–514, DOI:10.1016/j.lwt.2017.09.021.
- Kotloff K.L., Riddle M.S., Platts-Mills J.A., Pavlinac P. & Zaidi A.K.M., 2018. Shigellosis. *The Lancet* **391**(10122), 801–812, DOI:10.1016/S0140-6736(17)33296-8.
- Lajnaf R., Feki S., Ben Ameer S., Attia H., Kammoun T., Ayadi M.A. & Masmoudi H., 2023. Cow's milk alternatives for children with cow's milk protein allergy - Review of health benefits and risks of allergic reaction. *Int. Dairy J.* **141**, 105624, DOI:10.1016/j.idairyj.2023.105624.
- Liu H., Grosvenor A.J., Li X., Wang X., Ma Y., Clerens S., Dyer J.M. & Day L., 2019. Changes in Milk Protein Interactions and Associated Molecular Modification Resulting from Thermal Treatments and Storage. *J. Food Sci.* **84**(7), 1737–1745, DOI:10.1111/1750-3841.14663.
- Lucey J.A., 2015. Raw Milk Consumption: Risks and Benefits. *Nutr. Today* **50**(4), 189–193, DOI:10.1097/NT.0000000000000108.
- Lucey J.A., 2017. Chapter 7 - Formation, Structural Properties, and Rheology of Acid-Coagulated Milk Gels. In: McSweeney, P.L.H., Fox, P.F., Cotter, P.D., Everett, D.W. eds. *Cheese (Fourth Edition)*. San Diego: Academic Press, 179–197.
- M. M., AGGAD H., Benmechernene Z., Bettache G., Henni D. & Mebrouk K., 2006. Cultivable Lactic Acid Bacteria Isolated from Algerian Raw Goat's Milk and Their Proteolytic Activity.
- Martin P., 1997. La composition protéique du lait de chèvre : ses particularités. In: *Intérêts Nutritionnel et Diététique Du Lait de Chèvre*, Les Colloques. Paris.
- Masotti F., Battelli G. & De Noni I., 2012. The evolution of chemical and microbiological properties of fresh goat milk cheese during its shelf life. *J. Dairy Sci.* **95**(9), 4760–4767, DOI:10.3168/jds.2011-5039.
- Miloradovic Z., Kljajevic N., Miocinovic J., Tomic N., Smiljanic J. & Macej O., 2017. High heat treatment of goat cheese milk. The effect on yield, composition, proteolysis, texture and sensory quality of cheese during ripening. *Int. Dairy J.* **68**, 1–8, DOI:10.1016/j.idairyj.2016.12.004.
- Mistry V. & Anderson D., 1993. Composition and Microstructure of Commercial Full-Fat and Low-Fat Cheeses. *Food Struct.* **12**(2).
- Moatsou G., 2023. Heat treatment of goat milk – A review. *Int. Dairy J.* **139**, 105569, DOI:10.1016/j.idairyj.2022.105569.
- Morand-Fehr P., FAO, Europäische Vereinigung für Tierproduktion, International Centre for Advanced Mediterranean Agronomic Studies & Technical Centre for Agricultural and Rural Cooperation (Eds.), 1991. *Goat nutrition*, Publication / European Association for Animal Production, Wageningen: Pudoc, 308.
- Morgan F., Massouras T., Barbosa M., Roseiro L., Ravasco F., Kandarakis I., Bonnin V., Fistakoris M., Anifantakis E., Jaubert G. & Raynal-Ljutovac K., 2003. Characteristics of goat milk collected from small and medium enterprises in Greece, Portugal and France. *Small Rumin. Res.* **47**(1), 39–49, DOI:10.1016/S0921-4488(02)00252-3.
- Niimi J., Eddy A.I., Overington A.R., Silcock P., Bremer P.J. & Delahunty C.M., 2015. Sensory Interactions between Cheese Aroma and Taste. *J. Sens. Stud.* **30**(3), 247–257, DOI:10.1111/joss.12155.
- Olson N.F., 1990. The impact of lactic acid bacteria on cheese flavor. *FEMS Microbiol. Lett.* **87**(1–2), 131–147, DOI:10.1111/j.1574-6968.1990.tb04884.x.

- Peacock C.P., 1996. *Improving Goat Production in the Tropics: A Manual for Development Workers*, Oxfam, 416.
- Poppe C., 2020. Pathogens in Milk: Salmonella spp. In: *Reference Module in Food Science*.
- Quigley L., O'Sullivan O., Stanton C., Beresford T.P., Ross R.P., Fitzgerald G.F. & Cotter P.D., 2013. The complex microbiota of raw milk. *FEMS Microbiol. Rev.* **37**(5), 664–698, DOI:10.1111/1574-6976.12030.
- Règlement (CE) n° 853/2004 du Parlement européen et du Conseil du 29 avril 2004 fixant des règles spécifiques d'hygiène applicables aux denrées alimentaires d'origine animale, 2004. , OJ L.
- Remeuf F., 1993. Influence du polymorphisme génétique de la caséine α 1 caprine sur les caractéristiques physico-chimiques et technologiques du lait. *Le Lait* **73**(5–6), 549–557, DOI:10.1051/lait:19935-652.
- Ropars J., 2022. Penicillium camemberti. In: McSweeney, P.L.H., McNamara, J.P. eds. *Encyclopedia of Dairy Sciences (Third Edition)*. Oxford: Academic Press, 593–598.
- Rosenberg M., 2022. UHT Sterilized Milks. In: McSweeney, P.L.H., McNamara, J.P. eds. *Encyclopedia of Dairy Sciences (Third Edition)*. Oxford: Academic Press, 477–488.
- Rufián-Henares J.Á., Guerra-Hernandez E. & García-Villanova B., 2006. Colour measurement as indicator for controlling the manufacture and storage of enteral formulas. *Food Control* **17**(6), 489–493, DOI:10.1016/j.foodcont.2005.02.011.
- Singh S.V. & Vihan V.S., 2004. Detection of Mycobacterium avium subspecies paratuberculosis in goat milk. *Small Rumin. Res.* **54**(3), 231–235, DOI:10.1016/j.smallrumres.2003.12.002.
- Smathers L. & Etter A., 2023. Title: *Milking practices, pathogens, and coliform prevalence of raw milk from Vermont homesteads*.
- Spinnler H.E., Berger C., Lapadatescu C. & Bonnarme P., 2001. Production of sulfur compounds by several yeasts of technological interest for cheese ripening. *Int. Dairy J.*, Cheese Ripening and Technology **11**(4), 245–252, DOI:10.1016/S0958-6946(01)00054-1.
- SPW, August-1-2023. Cheptel ovin et caprin. *Etat Agric. Wallonne*. http://etat-agriculture.wallonie.be/cms/render/live/fr/sites/reaw/contents/indicatorsheets/EAW-A_II_c_6.html, (01/08/2023).
- Statbel, 2021. Augmentation de la production de produits laitiers frais des entreprises laitières belges en 2021.
- Strzałkowska N., Jóźwik A., Bagnicka E., Krzyżewski J., Horbańczuk K., Pyzel B. & Horbańczuk J., 2009. Chemical composition, physical traits and fatty acid profile of goat milk as related to the stage of lactation. *Anim. Sci. Pap. Rep. Inst. Genet. Anim. Breed.* **27**, 311–320.
- Suffys S., Richard G., Burgeon C., Werrie P.-Y., Haubruge E., Fauconnier M.-L. & Goffin D., 2023. Characterization of Aroma Active Compound Production during Kombucha Fermentation: Towards the Control of Sensory Profiles. *Foods* **12**(8), 1657, DOI:10.3390/foods12081657.
- Szlavko C.M. & Anderson R.J., 1979. Influence of Wort Processing on Beer Dimethyl Sulfide Levels1. *J. Am. Soc. Brew. Chem.* **37**(1), 20–25, DOI:10.1094/ASBCJ-37-0020.
- Tejada L., Sánchez E., Gómez R., Vioque M. & Fernández-Salguero J., 2002. Effect of Freezing and Frozen Storage on Chemical and Microbiological Characteristics in Sheep Milk Cheese. *J. Food Sci.* **67**(1), 126–129, DOI:10.1111/j.1365-2621.2002.tb11371.x.
- Teshome D., Sori T., Banti T., Kinfu G., Wieland B. & Alemayehu G., 2022. Prevalence and risk factors of Brucella spp. in goats in Borana pastoral area, Southern Oromia, Ethiopia. *Small Rumin. Res.* **206**, 106594, DOI:10.1016/j.smallrumres.2021.106594.
- Thaker H., Brahmabhatt M. & Nayak J., 2013. Isolation and identification of Staphylococcus aureus from milk and milk products and their drug resistance patterns in Anand, Gujarat. *Vet. World* **5**(12), 10, DOI:10.5455/vetworld.2013.10-13.
- The Good Scents Company Information System, December-29-2023. . <https://www.thegoodscentscompany.com/>, (29/12/2023).

- Tomaszewska-Gras J., Cais-Sokolińska D., Bierzuńska P., Kaczyński Ł.K., Walkowiak K. & Baranowska H.M., 2019. Behaviour of water in different types of goats' cheese. *Int. Dairy J.* **95**, 18–24, DOI:10.1016/j.idairyj.2019.02.015.
- Toquet M., Gómez-Martín Á. & Bataller E., 2021. Review of the bacterial composition of healthy milk, mastitis milk and colostrum in small ruminants. *Res. Vet. Sci.* **140**, 1–5, DOI:10.1016/j.rvsc.2021.07.022.
- Tziboula A., 1997. Casein diversity in caprine milk and its relation to technological properties: heat stability. *Int. J. Dairy Technol.* **50**(4), 134–138, DOI:10.1111/j.1471-0307.1997.tb01754.x.
- Ud-Din A. & Wahid S., 2014. Relationship among *Shigella* spp. and enteroinvasive *Escherichia coli* (EIEC) and their differentiation. *Braz. J. Microbiol.* **45**, 1131–1138, DOI:10.1590/S1517-83822014000400002.
- Varela P. & Ares G., 2014. *Novel Techniques in Sensory Characterization and Consumer Profiling*, CRC Press, 408.
- Wilkinson M.G. & LaPointe G., 2020. Invited review: Starter lactic acid bacteria survival in cheese: New perspectives on cheese microbiology. *J. Dairy Sci.* **103**(12), 10963–10985, DOI:10.3168/jds.2020-18960.
- Zhang F., Wang Z., Lei F., Wang B., Jiang S., Peng Q., Zhang J. & Shao Y., 2017. Bacterial diversity in goat milk from the Guanzhong area of China. *J. Dairy Sci.* **100**(10), 7812–7824, DOI:10.3168/jds.2017-13244.

9. Annexes

9.1. Code R pour l'analyse en composante principale, distance de Mahalanobis standardisée et détection des valeurs aberrantes effectuée sur les données des caractéristiques du fromage

```
#Packages
```

```
library(FactoMineR)
```

```
library(ggplot2)
```

```
library(reshape2)
```

```
library(pander)
```

```
library(pls)
```

```
library(glmnet)
```

```
library(knitr)
```

```
library(summarytools)
```

```
library(FactoMineR)
```

```
install.packages("factoextra")
```

```
library(factoextra)
```

```
#Lecture de donnees
```

```
dep <- read.table("dep.csv",header = TRUE, sep = ";")
```

```
indep <- read.table("indep.csv",header = TRUE, sep = ";")
```

```
data <- data.frame(indep, dep)
```

```
Trait <- data[, -c(1,3)]
```

```
spectreTrait <- Trait[,-1]
```

```
y <- data.frame (Trait[,1])
```

```
str(spectreTrait)
```

```
#PCA : Principal component analysis
```

```
hist(Trait$Traitement, breaks = 30, col = "red")
```

```
pca.Trait <- PCA(spectreTrait,scale = TRUE)
```

```
plot(pca.Trait$eig[,3], xlab = "Composante principale", ylab = "Pourcentage cumulatif de la variabilité expliquée", col="blue")
```

```
pander(pca.Trait$eig[(pca.Trait$eig[,3]>98.5)&(pca.Trait$eig[,3]<100),])
```

```
fviz_pca_ind(pca.Trait,  
  geom = "point",  
  col.ind = ifelse(1:nrow(spectreTrait) <= 24, "blue", "red"),  
  palette = c("blue", "red"))
```

So number of principal component = 8

#-> correspond à l'endroit où la courbe commence à s'aplanir -> ici ça ne s'aplatit pas tellement ?

```
pca.Trait <- PCA(spectreTrait,scale = TRUE,ncp = 8)
```

```
plot(pca.Trait$eig[,3], xlab = "Composante principale", ylab = "Pourcentage cumulatif de la variabilité  
expliquée", col="blue")
```

#Mahalanobis Distance

```
meanPC <- colMeans(pca.Trait$ind$coord)
```

```
covPC <- cov(pca.Trait$ind$coord)
```

```
melted_covPC <- melt(covPC)
```

```
t <- ggplot(data = melted_covPC) + aes(x=Var1, y= Var2, fill = value) + geom_tile()
```

```
t+xlab("Cov entre PCs")+ ylab("Cov entre PCs") + theme(axis.text.x = element_text(size = 8,angle =  
90)) +theme(axis.text.y = element_text(size = 8))
```

#Covariance =0 since Dim.2

```
maha <- mahalanobis(pca.Trait$ind$coord, center = meanPC, cov = covPC)
```

```
pander(summary(maha))
```

```
hist(maha, xlab = "Distance de Mahalanobis", breaks = 30, col = "red", main = NULL)
```

Mean= number of PC so OK

Global-H distance or GH distance

Standardization: distance divided by number of PC=8

standardized distance is lower than 3, the samples are not considered as potential outliers.

```
GH <- maha/8
```

```
pander(summary(GH))
```

```

hist(GH,xlab="Standardized Mahalanobis distance",col="blue",main=NULL)

newX <- spectreTrait[GH<3,]
PLS_Trait <- y[GH<3,]
newX <- as.matrix(newX)
PLS_Trait <- as.matrix(PLS_Trait)
new.data <- data.frame(PLS_Trait,newX)

PLS <- plsr(PLS_Trait~., data = new.data, method = "oscorespls", scale = TRUE, center = TRUE,
validation = "CV", ncomp = 8)
summary(PLS)

Rsquare <- R2(PLS, "all")
melted_R2 <- melt(Rsquare$val)
t<-ggplot(data = melted_R2) + aes(x=model, y=value, col=estimate) + geom_point()
t + xlab("Models") + ylab("Coefficient of determination (R?)") + theme(axis.text.x=
element_text(size=6,angle=90))

RMSEP<-RMSEP(PLS,"all")
melted_RMSE <- melt(RMSEP$val)
t<-ggplot(data = melted_RMSE) + aes(x=model, y=value, col=estimate) + geom_point()
t + xlab("Models") + ylab("Root Mean Squared Error (RMSE)") + theme(axis.text.x=
element_text(size=6,angle=90))

difference<-Rsquare$val[1,]-Rsquare$val[2,,]
difference2<-array(0,dim=c(length(difference)))
for (i in 2:length(difference)){difference2[i]=Rsquare$val[2,,i]-Rsquare$val[2,,i-1]}
results<-
data.frame(Rsquare$val[1,]*100,Rsquare$val[2,,]*100,RMSEP$val[1,],RMSEP$val[2,,],difference,dif
ference2)

names(results)<- c("R2_calib","R2_valid","RMSEP_calib","RMSEP_valid","Robustnessdiff","Accuracy
diff")

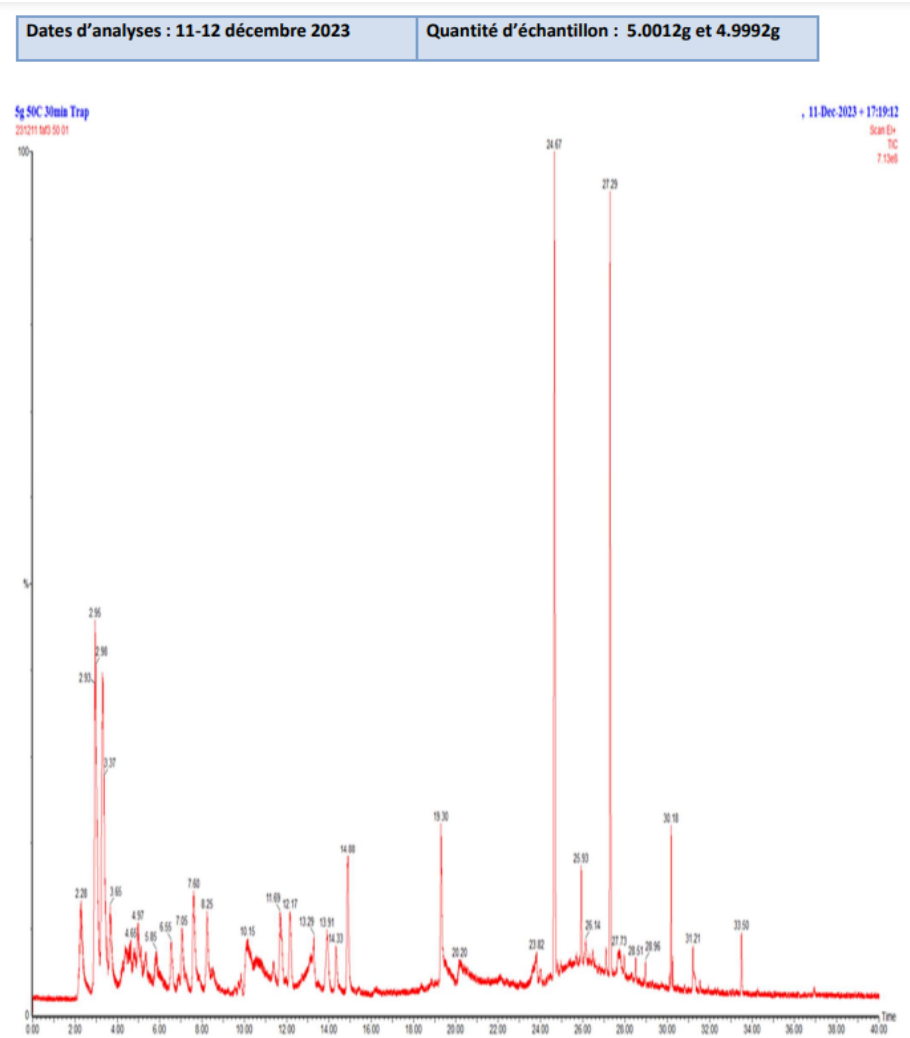
```

kable(results[1:20,],digits=3,align="c")

Annexe 1 : Code R pour l'analyse en composante principale, distance de Mahalanobis standardisée et détection des valeurs aberrantes effectuée sur les données des caractéristiques du fromage

9.2. Chromatogrammes

9.2.1. Profil chromatographique global du FAF3

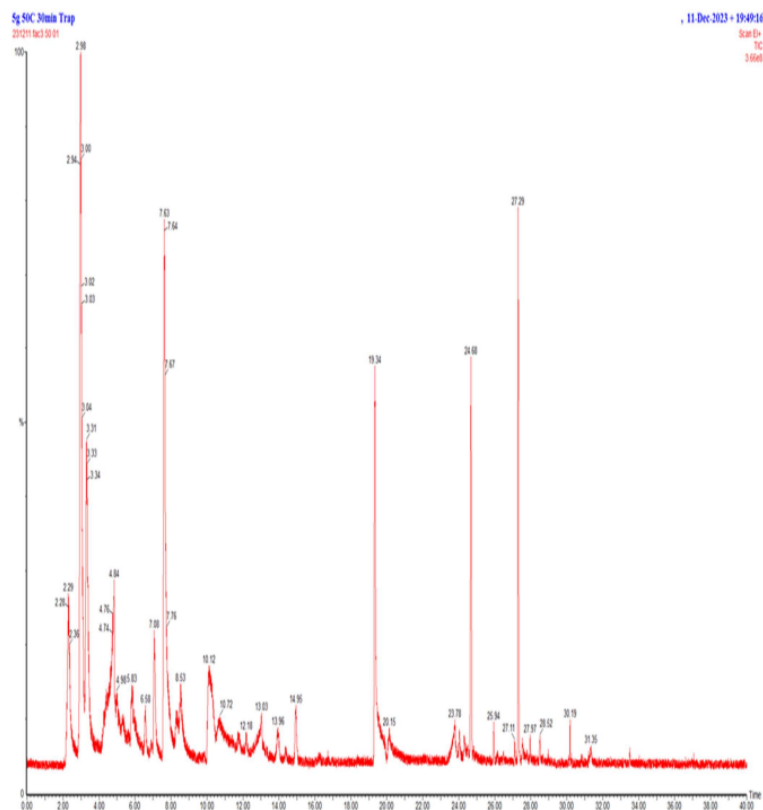


Annexe 2 : Profil chromatographique global du FAF3

9.2.2. Profil chromatographique global du FAC3

Dates d'analyses : 11-12 décembre 2023

Quantité d'échantillon : 4.9962g et 4.9989g

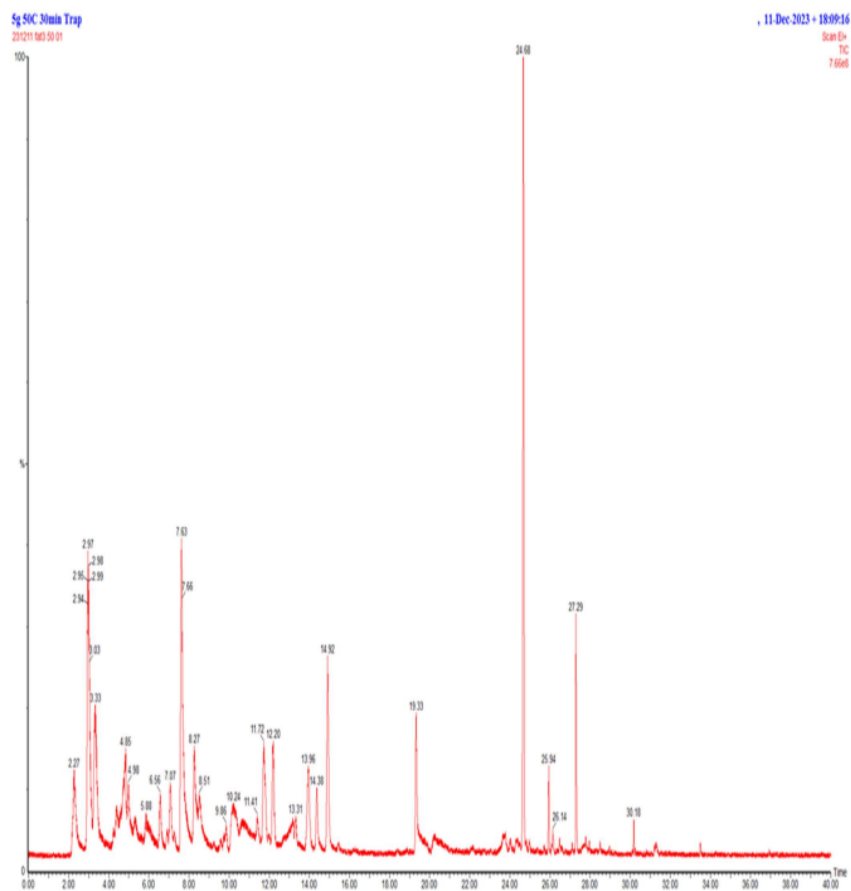


Annexe 3 : Profil chromatographique global du FAC3

9.2.3. Profil chromatographique global du FAT3

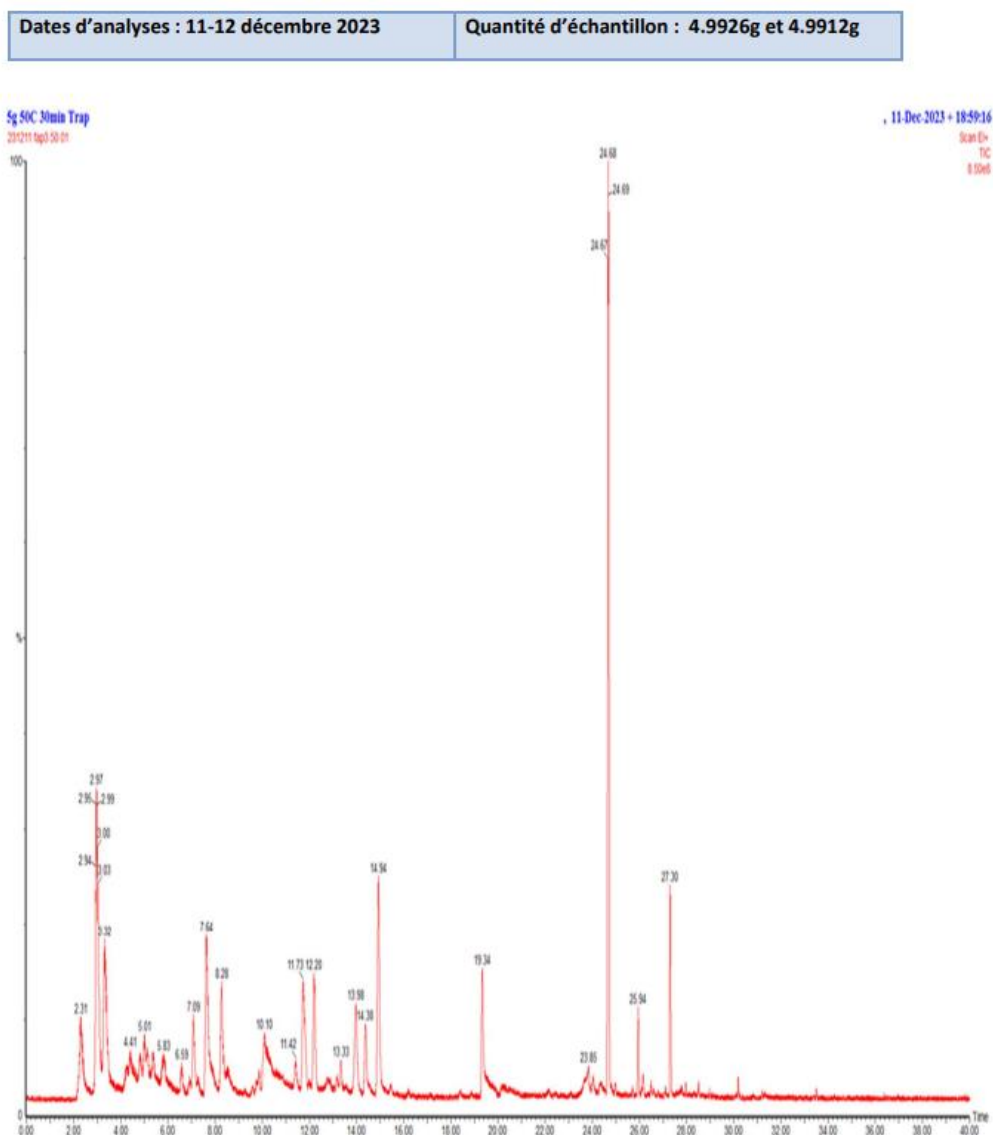
Dates d'analyses : 11-12 décembre 2023

Quantité d'échantillon : 5.0036g et 5.0021g



Annexe 4 : Profil chromatographique global du FAT3

9.2.4. Profil chromatographique global du FAP3



Annexe 5 : Profil chromatographique global du FAP3

9.3. Résultats de la dégustation en profil flash

	Tranchabilité	Moelleux centre	Croute épaisseur	Adhérence croute	Présence intercroute	Couleur (0=blanc 5=jaune)	Homogénéité centre	Puissance odeur	Odeur chèvre	Odeur moisi	Palatabilité	Humidité	Intensité	Intensité gout croute	Intensité gout intérieur	Longueur ensemble	Piquant	Salinité
FAF	3	3	2	2	2	5	3	1	2	2	5	3	2	3	4	3	5	5
A2	4	1	2	2	2	4	0	2	1	0	5	5	4	3	3	4	4	3
A3	5	4	5	0	2	5	4	1	0	5	3	3	1	4	5	2	1	5
A4	5	1	3	5	2	4	2	3	2	4	3	4	4	4	4	4	4	1
A5	5	0	2	4	3	4	1	1	1	2	4	4	1	2	1	3	3	3
A6	4	2	3	1	2	4	1	4	4	1	1	3	3	3	3	4	1	2
A7	5	4	2	1	1	3	2	2	3	2	3	1	2	1	3	4	2	0
A8	3	3	1	5	1	3	1	1	2	1	2	3	2	2	2	2	1	4
FAT	5	1	1	5	1	2	4	1	1	3	1	1	1	1	2	1	2	3
B2	0	4	0	5	0	1	2	0	1	0	1	1	0	1	1	1	1	3
B3	2	5	5	5	0	1	5	2	0	4	2	2	2	4	4	3	0	4
B4	2	4	1	3	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2	1	2	1
B5	3	4	0	4	1	2	1	1	0	2	1	1	4	2	3	3	4	2
B6	2	3	3	2	0	1	1	2	2	0	3	1	5	1	1	1	0	0
B7	0	1	1	5	0	0	2	2	2	3	1	0	0	1	1	2	0	1
B8	1	3	1	5	1	1	1	2	1	2	4	1	3	1	1	1	2	2
FAC	4	2	3	1	3	4	3	2	3	1	4	4	3	2	5	4	3	3
C2	1	4	3	4	3	4	2	3	3	0	2	1	2	2	2	1	2	3
C3	3	0	0	0	4	4	0	3	5	0	2	2	2	1	2	4	4	2
C4	2	3	2	1	4	4	2	5	4	1	1	2	3	3	3	2	2	2
C5	1	3	3	3	4	2	1	3	2	3	2	3	1	2	3	3	3	2
C6	1	4	4	2	2	4	0	2	0	5	4	0	1	2	2	5	3	3
C7	2	2	2	3	3	2	0	1	0	0	1	3	1	3	3	3	2	2
C8	2	4	3	3	3	2	2	3	1	2	3	2	4	3	3	3	2	3
FAP	2	2	4	3	4	1	2	3	4	1	3	3	4	2	4	5	1	4
D2	2	2	4	2	3	2	3	4	4	0	3	3	5	5	5	5	5	3
D3	0	2	0	0	5	0	2	2	5	0	1	1	5	0	3	5	5	1
D4	1	4	1	1	5	2	5	3	4	1	1	2	2	3	2,5	3	3	1
D5	1	1	4	3	5	1	4	5	4	0	2	3	2	4	4	4	2	2
D6	2	1	1	4	4	1	0	4	2	1	5	2	0	4	5	5	3	3
D7	4	3	4	2	4	1	0	5	5	4	4	3	0	2	2	4	0	0
D8	2	2	2	4	2	1	3	4	3	0	3	2	2	1	1	1	3	2

Annexe 6 : Tableaux des résultats de dégustation concernant l'ensemble des descripteurs pour chaque type de fromage