



UNIVERSITÉ LILLE – SCIENCES ET TECHNOLOGIES

ECOLE DOCTORALE SCIENCES DE LA MATIÈRE, DU RAYONNEMENT ET DE L'ENVIRONNEMENT (E.D. 104)

THÈSE DE DOCTORAT

Discipline : Biotechnologies alimentaires, sciences de l'aliment

Thèse effectuée à : Institut Charles Viollette (ICV) EA 7394

Présentée et soutenue le 29/05/2018

par

Mohamed Menouar Nacef

pour l'obtention de grade de Docteur

Maroilles fermiers et industriels : quelles sont les différences ? Une approche pluridisciplinaire allant du consommateur aux caractérisations sensorielles, physicochimiques et microbiologiques

Devant le jury composé de :

Pr. Pascal Dhulster	Professeur, Université de Lille	Président
Pr. Christophe BLECKER	Professeur, Agro Bio Tech, Gembloux, Belgique	Rapporteur
Dr. Florence Husson	Maître de conférences-HDR, Agro Sup, Dijon	Rapporteur
Pr. Catherine Dacremont	Professeure, Agro Sup, Dijon	Examinatrice
Dr. Céline Delbes	Chargée de Recherches INRA, Aurillac	Examinatrice
Pr. Djamel Drider	Professeur, Université de Lille	Examineur
Dr. Sylvie Chollet	Maître de conférences-HDR, ISA, Lille	Directrice de thèse
Dr. Christophe Flahaut	Maître de conférences-HDR, Université d' Artois	Directeur de thèse

Remerciements

Après ces années de travail et de recherche, voilà que j'arrive à la fin d'un séjour scientifique plein de rebondissements et que je ressens enfin la satisfaction d'un objectif accompli.

Cette thèse m'a permis d'acquérir et de développer un savoir qui dépasse de loin l'idée et l'objectif tracé au début de mon séjour. C'est une opportunité qui m'a permis de côtoyer de nombreuses personnes ; certaines ont participé et influencé directement cette thèse avec un grand intérêt et implication et d'autres m'ont soutenu et encouragé physiquement et moralement.

J'exprime ma gratitude et ma reconnaissance à mes responsables en Algérie Monsieur Hadji ZARHOUNI, Directeur Central de l'Intendance, pour la confiance qu'il m'a accordé pour effectuer cette thèse et l'intérêt qu'il porte à la formation continue du personnel, ainsi que Messieurs Daoudi, Latrouche et Abba Abdelhamid pour leur soutien.

Un grand merci à Monsieur Rachid Belbaki, Consul Général du Consulat Général d'Algérie à Lille pour son soutien et sa disponibilité.

Je souhaite, également, exprimer ma reconnaissance et mes remerciements les plus chaleureux à mes chers directeurs de thèse, Madame Sylvie Chollet et Monsieur Christophe Flahaut pour leur confiance. J'ai apprécié leur disponibilité, leur écoute et leurs qualités humaines dont ils ont fait preuve durant les moments les plus difficiles de cette thèse. Merci pour votre aide et les précieux conseils, qui m'ont toujours porté vers l'avant au cours de ces années. Que ces modestes mots témoignent de ma reconnaissance et mon admiration pour les personnes que vous êtes.

Je tiens à remercier tout particulièrement Monsieur Pascal Dhulster pour m'avoir accueilli au sein de l'Institut Charles Viollette et avoir accepté de présider ce jury de soutenance.

Je remercie également Monsieur Christophe Becker et Madame Florence Husson d'avoir accepté d'être mes rapporteurs pour cette thèse. Mes remerciements les plus respectueux vont également à Monsieur Djamel Drider, Madame Catherine Dacremont et Madame Céline Delbes d'avoir accepté d'être examinateur lors de ma soutenance.

Un grand merci pour les membres de mon comité de thèse, Madame Gaëlle Arvisenet, Madame Frédérique Gancel, Monsieur Djamel Drider et Madame Céline Delbes pour toutes ces discussions toujours très fructueuses et leurs conseils et orientations.

Je remercie Monsieur Claude Leduc et Monsieur Philippe Roger, fabricants de Maroilles pour leur contribution sous forme de Maroilles.

Je remercie également très chaleureusement Monsieur Ronan Symoneaux pour son aide ainsi que toute l'équipe du laboratoire d'évaluation sensorielle de l'ESA Angers. Aussi je n'oublie pas de remercier Monsieur Jim Van Durme et toute son équipe de l'université KU Leuven de Belgique.

Je souhaite remercier vivement Monsieur Christophe Fachon, directeur de l'ISA Lille du groupe Yncréa de m'avoir accueilli au sein de son établissement. Et bien sûr, un grand merci à Pierre Vandendriessche, responsable du pôle agroalimentaire de l'ISA, pour tout ce qu'il a pu faire pour rendre mon séjour au sein de l'équipe très agréable, ainsi que pour ses « dépannages Excel ». Merci à l'équipe du « Pôle Agro » pour votre convivialité, votre sympathie et votre bonne humeur. Ce sont des moments inoubliables, Vincent, Mathieu, Lucile, Leandro, Laureen, Giuseppe, Emmanuelle, Charles, Damien, Celine, Valerie x2, Caroline x2, Marie-Noëlle, Katia, Catherine, Maud, Elise.

Merci les « filles de Microbiologie » pour votre aide et sympathie, soyez toujours joyeuses. Merci Maud pour ton aide et ta disponibilité, pour tes conseils et toutes tes corrections. Une pensée amicale à Chrysa pour le travail effectué ensemble et ta bonne volonté. Merci à tous les membres de l'équipe sol et environnement, et plus particulièrement Sarah.

Également un grand merci à Souheila pour ta relecture et tes corrections à chaque fois que je te sollicite. Merci aussi à Sofia pour la relecture de ce manuscrit.

Un grand merci à toutes les personnes que j'ai pu rencontrer à l'Institut Charles Viollette. Merci Yanath pour toutes les réponses aux questions que j'ai pu me poser pendant ma thèse et pour ta gentillesse. Mickael, merci pour tout ce que j'ai pu apprendre avec toi au Realcat.

Il m'est impossible de ne pas remercier Madame Dominique Valentin pour sa rigueur durant le travail, gentillesse et simplicité à la fin du travail. Monsieur Hervé Abdi pour sa bonne humeur, sa patience, son humour et j'en passe. D'ISA de Lille à Ho chi Minh au Vietnam, partager cette expérience du SPISE à vos côtés a vraiment été une chance !

J'ai bien évidemment beaucoup de personnes à remercier, pas uniquement pour leurs compétences ou leur implication dans ma thèse, mais tout simplement pour leur soutien, leur gentillesse ou le souvenir impérissable qu'elles m'ont laissé. J'espère seulement que je n'ai oublié personne et si tel était le cas, je m'en excuse par avance.

Amis et collègues d'ici et d'Algérie :

Merci Azzedine, Hani, Yanis, Hakim, Azzouz & Salma, Abderahman, Mohamed, Mansour, Nouredine, Rochedi, Abdelbaki, Attef, Abdelmoumen, Abdelatif, Hicham, Mahfoud, Lyese, Ali, Nabil, Toufik, Zohir, Malek, Omar, Yazid.

Enfin, un grand merci à toute ma famille, mes proches et amis

Ma mère, mes frères et mes oncles.

Ma belle-mère, mon beau père et mes beaux-frères.

Mes plus sincères remerciements vont à ma très chère femme Sanna et ma fille, mon trésor Mirane ; les deux personnes qui m'ont accompagné durant cette expérience et qui ont vécu avec moi les moments les plus difficiles. Sans elles, je n'aurais jamais réussi à avancer et à dépasser les obstacles. Merci pour votre soutien et encouragement.

Je remercie DIEU le tout puissant et le miséricordieux pour tous.

Résumé

Aujourd'hui, les produits alimentaires sont de plus en plus industrialisés et standardisés pour répondre aux besoins de la population. En même temps, le consommateur recherche des produits authentiques de qualité. Ces critères d'authenticité et de qualité sont incarnés par des produits traditionnels, de terroir, fermiers, disposant de circuits de distribution courts. Parmi ces produits, le fromage représente un aliment de valeur dans l'histoire culinaire française. Dans ce cadre, cette thèse a porté sur l'étude d'un fromage AOP, le Maroilles. Une approche pluridisciplinaire (analyses sensorielles, physicochimiques et microbiologiques) a été menée avec comme objectif la caractérisation des Maroilles fermiers, fabriqués à base de lait cru, et industriels, fabriqués à partir de lait pasteurisé. Les analyses sensorielles ont mis en évidence que des consommateurs étaient capables de percevoir des différences entre ces deux types de Maroilles. Ces différences de perception ont pu être expliquées par les analyses physicochimiques (composition, texture, couleur) et microbiologiques. De plus, la qualité du Maroilles en termes d'appréciations hédoniques et de descriptions sensorielles peut être prédite à partir des mesures instrumentales et notamment de la composition en acides gras. Ce travail a également montré que la qualité du Maroilles, perçue par le consommateur est fortement dépendante de la familiarité que le consommateur a vis-à-vis de ce produit. Une étude consommateur, réalisée dans deux villes en France, Lille la région d'origine du Maroilles et Angers extérieure à la région de production du Maroilles, a montré que la familiarité en termes de fréquence de consommation et de connaissance du Maroilles influence l'appréciation et les attitudes du consommateur. De plus, la familiarité modifie les représentations que les consommateurs se font du Maroilles fermier. Le Maroilles est un fromage qui garde son authenticité et sa typicité par sa variabilité inter-produits qui constitue une richesse et une diversité de choix pour les consommateurs.

Mots clés : Fromage, Maroilles fermiers et industriels, analyses sensorielles, analyses microbiologiques, analyses physicochimiques, familiarité, représentations sociales.

Abstract

Today, food products are increasingly industrialized and standardized for the population needs. In the same time, the consumer is looking for qualitative authentic products. These quality standards are embodied by traditional, “de terroir”, craft products, with short distribution channels. Among these products, cheese is a valuable food of the French culinary history. In this context, this thesis focused on the study of an AOP cheese: the Maroilles. A multidisciplinary approach (sensory, physicochemical and microbiological analyses) was conducted with the objective of characterizing artisanal (raw milk-based) and industrial Maroilles (pasteurized milk-based). Sensory analyses revealed that consumers were able to perceive differences between these two types of Maroilles. These differences in perception could be explained by physicochemical (composition, texture, color) and microbiological analyses. In addition, the quality of Maroilles in terms of hedonic appreciations and sensory descriptions can be predicted from instrumental measurements, in particular the fatty acid composition. Concomitantly, the quality of Maroilles perceived by the consumer is strongly dependent on the consumer's familiarity with this product. A consumer study, carried out in two cities in France (Lille, the region of origin of Maroilles and Angers outside the Maroilles production region) showed that Maroilles' familiarity in terms of consumption frequency and knowledge influences the appreciation and consumer attitudes. In addition, the familiarity changes the representations that consumers make of artisanal Maroilles. Maroilles is a cheese that keeps its authenticity and its typicality by its inter-product variability, which constitutes a wealth and a variety of choices for consumers.

Key words: Cheese, artisanal and industrial Maroilles, sensory analyses, microbiological analyzes, physico-chemical analyzes, familiarity, social representations.

Valorisation scientifique

Publications

Menouar Nacef, Mickaël Chevalier, Sylvie Chollet, Djamel Drider & Christophe Flahaut. (2017). MALDI-TOF mass spectrometry for the identification of lactic acid bacteria isolated from a French cheese: The Maroilles. *International Journal of Food Microbiology*, **247**, 2-8.

Menouar Nacef, Maud Lelièvre-Desmas, Djamel Drider, Christophe Flahaut & Sylvie Chollet. Artisanal and industrial Maroilles cheeses: Are they really different? Comparison using sensory, physico-chemical and microbiological approaches. *Soumis à International Dairy Journal*.

Menouar Nacef, Maud Lelièvre-Desmas, Ronan Symoneaux, Laureen Jombart, Christophe Flahaut & Sylvie Chollet. Consumers' expectation and liking for cheese: can cross-cultural differences be highlighted within a country? *Soumis à Food Quality and Preference*.

Menouar Nacef, Maud Lelièvre-Desmas, Djamel Drider, Christophe Flahaut & Sylvie Chollet. Can we predict Liking and Description of Maroilles cheese by physicochemical and microbiological analyses? *Lwt-Food Science and Technology*, en préparation.

Menouar Nacef, Maud Lelièvre-Desmas, Ronan Symoneaux, Christophe Flahaut & Sylvie Chollet. Does familiarity modify the representations of artisanal Maroilles cheeses? *Appetite*, en préparation.

Menouar Nacef, Maud Lelièvre-Desmas, Ronan Symoneaux, Laureen Jombart, Djamel Drider, Christophe Flahaut & Sylvie Chollet. 2016. Do we have the same expectations and preferences in two regions of France concerning the Maroilles cheese? Proceeding in Summer Program in Sensory Evaluation (SPISE). 29-31 Juillet 2016, Ho Chi Minh, Vietnam.

Communications orales

Menouar Nacef, Maud Lelièvre-Desmas, Djamel Drider, Christophe Flahaut & Sylvie Chollet. What is the best way to discriminate craft vs. industrial Maroilles: Sensory, physicochemical or microbiological analyses? *10th Cheese Symposium*. 4-6 April 2018, Rennes, France.

Menouar Nacef, Maud Lelièvre-Desmas, Ronan Symoneaux, Laureen Jombart, Djamel Drider, Christophe Flahaut & Sylvie Chollet. Do we have the same expectations and preferences in two regions of France concerning the Maroilles cheese? *Summer Program in Sensory Evaluation (SPISE)*. 29-31 July 2016, Ho Chi Minh, Vietnam.

Christophe Flahaut, Mickaël Chevalier, Mahammed Zidour, **Menouar Nacef**, Françoise Coucheney, Sylvie Chollet & Djamel Drider. La spectrométrie de masse et la biodiversité. *20^{ème} Club des Bactéries Lactiques*. 17-19 juin 2015, Lille, France.

Communications affichées

Menouar Nacef, Mickaël Chevalier, Djamel Drider, Sylvie Chollet & Christophe Flahaut. Mass spectrometry for identifications of lactic acid bacteria and a secondary metabolite from Maroilles cheeses. *10th Cheese Symposium*, 4-6 April 2018, Rennes, France.

Sylvie Chollet, **Menouar Nacef**, Ronan Symoneaux, Djamel Drider, Christophe Flahaut & Maud Lelièvre-Desmas. The more you eat Maroilles, the more you like it: True or false? Impact of consumption habits and product knowledge on craft and industrial Maroilles appreciation and expectations? *10th Cheese Symposium*, 4-6 April 2018, Rennes, France.

Maud Lelièvre-Desmas, **Menouar Nacef**, Ronan Symoneaux, Djamel Drider, Christophe Flahaut & Sylvie Chollet. Why does Maroilles cheese stay in the North of France? Exploring social representation of craft Maroilles. *10th Cheese Symposium*. 4-6 April 2018, Rennes, France.

Chrysanthi Champidou, **Menouar Nacef**, Leandro Galvan D'Alessandro, Djamel Drider, Sylvie Chollet & Christophe Flahaut. Physicochemical and microbiological comparisons of industrial and craft Maroilles cheeses. *21^{ème} Club des Bactéries Lactiques*, 14-15 juin 2017, Lille, France.

Menouar Nacef, Mickaël Chevalier, Djamel Drider, Sylvie Chollet & Christophe Flahaut. The identification of lactic acid bacteria isolated from the Maroilles cheese by MALDI-TOF mass spectrometry. *21^{ème} Club des Bactéries Lactiques*. 14-15 juin 2017, Lille, France.

Chrysanthi Champidou, **Menouar Nacef**, Leandro Galvan D'Alessandro, Christophe Flahaut & Sylvie Chollet. Industrial vs. Artisanal French PDO cheese what is the difference? Study of the microbiological profile and the physicochemical properties of Maroilles cheese. *6th International Congress on Food Technology*. March 18-19 2017, Athens, Greece.

Menouar Nacef, Maud Lelièvre-Desmas, Ronan Symoneaux, Laureen Jombart, Djamel Drider, Christophe Flahaut & Sylvie Chollet. How do familiarity and information influence consumers' expectation and preference of Maroilles cheese? *Eurosense 2016: Seventh European Conference on Sensory and Consumer Research*. 11-14 September 2016, Dijon, France.

Liste des Abréviations

AA : Acides Aminés.
ACP : Analyse en Composantes Principales.
ADN : Acide DésoxyriboNucléique.
AFNOR : Agence Française de Normalisation.
AG : Acides Gras.
AOC : Appellation d'Origine Contrôlée.
AOAC : Association of Official Analytical Chemists.
AOP : Appellation d'Origine Protégée.
ARN : Acide RiboNucléique.
ASB : Albumine de Sérum Bovin.
a_w : Activité de l'eau.
BL : Bactérie Lactique.
CATA : Check-All-That-Apply.
Ciqual : Centre Informatique pour la QUalite des ALiments.
CLHP : Chromatographie Liquide à Haute Performance.
CMP : Casino-MacroPeptides.
CNAOL : Conseil National des Appellations d'Origine Laitières.
CNIEL : Centre National Interprofessionnel de l'Economie Laitière.
ELISA : Enzyme-Linked ImmunoSorbent Assay .
FIL : Fédération International du Lait.
FIR : Far Infrared.
GC : Gaz Chromatography.
GCO : Gaz Chromatography Olfactometry.
HRE : Humidité Relative d'Equilibre.
HTS : High-Throughput Sequencing.
INAO : Institut National des Appellations d'Origines.
ISO : International Organization for Standardization.
LPL : LipoProtéine Lipase.
LAB : Lactic Acid Bacteria
m : Masse moléculaire.
m/z : masse sur la charge.
MALDI-TOF : Matrix Assisted laser Desorption/Ionisation Time of Flight.
MDS : MultiDimensional Scaling.
MIR : Moyen InFrared.
MS : Mass Spectrometry.
NGS : Next-Generation Sequencing.
NIR : Near InFrared.
NSLAB : Non-Starter Lactic Acid Bacteria.
ODG : Organisme de Défense et de Gestion.
PCM : Phosphate de Calcium Micellaire.
PLS : Partial Least Square.
QDA : Quantitative Descriptive Analysis
RMN : Résonance Magnétique Nucléaire.
RP-CLHP : Reverse Phase High-Performance Liquid Chromatography.
z : charge

Sommaire

INTRODUCTION GÉNÉRALE	1
REVUE BIBLIOGRAPHIQUE	10
1 FABRICATION ET AFFINAGE DU MAROILLES	11
1.1 Le Prétraitement du lait	12
1.1.1 Production fermière	12
1.1.2 Production industrielle	12
1.2 La coagulation	13
1.2.1 La coagulation lactique ou par acidification (Figure 7)	14
1.2.2 La coagulation par voie enzymatique (Figure 8)	15
1.2.3 La coagulation mixte : le cas du Maroilles	16
1.3 L'égouttage et le moulage	17
1.3.1 L'égouttage	17
1.3.2 Le moulage	17
1.4 Le salage, le ressuyage et le levurage	18
1.5 L'affinage	19
1.6 Les agents d'affinage	20
1.6.1 La flore bactérienne	20
1.6.2 Biochimie de l'affinage	28
1.6.3 Les principaux facteurs influençant l'affinage	31
2 AUTHENTIFICATION DES MAROILLES FERMIS ET INDUSTRIELS	34
2.1 Caractéristiques sensorielles et physicochimiques	35
2.1.1 Caractéristiques sensorielles	35
2.1.2 Composition nutritionnelle	36
2.2 Méthodes usuelles d'authentification	37
2.2.1 Analyses physicochimiques	37
2.2.2 La chromatographie liquide à haute performance (CLHP)	38
2.2.3 La chromatographie en phase gazeuse (GC, de l'anglais <i>gas chromatography</i>)	40
2.2.4 Techniques immunologiques	41
2.2.5 Analyses microbiologiques	42
2.2.6 Analyses sensorielles	42
2.3 Méthodes d'authentification alternatives	43
2.3.1 La spectroscopie infrarouge	44
2.3.2 Spectroscopie par résonance magnétique nucléaire	45
2.3.3 Spectrométrie de masse	46
2.3.4 Approche isotopique comparative	47

2.3.5	Approche moléculaire et microbiologique par MALDI-TOF-MS.....	49
2.3.6	Analyse de l'ADN ou Analyse microbiologique culture indépendante	50
2.3.7	Analyses Sensorielles	51
3	ÉTUDE DU CONSOMMATEUR.....	53
3.1	<i>Le choix des consommateurs</i>	53
3.1.1	Différents modèles des choix des consommateurs	53
3.1.2	Les attentes des consommateurs	57
3.2	<i>La familiarité</i>	60
3.2.1	Qu'est-ce que la familiarité.....	60
3.2.2	Influence de la familiarité sur la perception des aliments	60
3.3	<i>Représentations sociales</i>	63
3.3.1	Généralités.....	63
3.3.2	Comment évalue-t-on les représentations sociales ?.....	64
3.3.3	Application à l'alimentation.....	65
CHAPITRE 1. LES MAROILLES FERMILIERS ET INDUSTRIELS SONT-ILS VRAIMENT DIFFÉRENTS ?		
COMPARAISON À L'AIDE D'APPROCHES SENSORIELLES, PHYSICOCHIMIQUES ET		
MICROBIOLOGIQUES. 66		
1	INTRODUCTION.....	67
2	ARTICLE	68
3	CONCLUSION	98
CHAPITRE 2. POUVONS-NOUS PRÉDIRE L'APPRÉCIATION ET LA DESCRIPTION SENSORIELLE DU		
MAROILLES PAR DES ANALYSES PHYSICOCHIMIQUES ET MICROBIOLOGIQUES ? 99		
1	INTRODUCTION.....	100
2	ARTICLE	101
3	CONCLUSION	129
CHAPITRE 3. L'IDENTIFICATION PAR SPECTROMÉTRIE DE MASSE MALDI-TOF DE BACTÉRIES		
LACTIQUES ISOLÉES DU MAROILLES 130		
1	INTRODUCTION.....	131
2	ARTICLE	132
3	CONCLUSION	150
CHAPITRE 4. LES ATTENTES DES CONSOMMATEURS ET LEUR APPRÉCIATION POUR LE FROMAGE : LES		
DIFFÉRENCES INTERCULTURELLES PEUVENT-ELLES ÊTRE MISES EN ÉVIDENCE DANS UN PAYS ?..... 152		
1	INTRODUCTION.....	153
2	ARTICLE	154
3	CONCLUSION	185

CHAPITRE 5. LA FAMILIARITÉ MODIFIE-T-ELLE LES REPRÉSENTATIONS SOCIALES DU MAROILLES	
FERMIER	186
1 INTRODUCTION.....	187
2 ARTICLE	187
3 CONCLUSION	209
DISCUSSION GÉNÉRALE	210
1 DIFFÉRENCE ENTRE MAROILLES FERMIER ET INDUSTRIEL : MYTHE OU RÉALITÉ ?	212
2 FAMILIARITÉ : D’OÙ VIENS-TU ET QUE FAIS-TU ?.....	214
3 COMMENT AMÉLIORER LA QUALITÉ DU MAROILLES ?	216
CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES	217
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	220

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Le fromage est un aliment très ancien, son apparition date de plus de 8000 ans. Il est considéré comme un aliment noble pour sa teneur en protéines de haute valeur biologique et pour sa richesse minérale. Quatre éléments principaux interviennent dans la fabrication du fromage : le lait, la présure, les micro-organismes et le sel (Beresford et al., 2001). Les traditions alimentaires de chaque société en font une denrée plus ou moins importante dans le régime alimentaire. La France est un pays réputé pour ses traditions gastronomiques et culinaires et le fromage fait partie de ce patrimoine tant par le nombre de variétés, que par sa production (1 950 000 tonnes de fromage hors fromages fondus en 2015) et par sa consommation (26,8 Kg par habitant en 2015) (CNAOL, 2017).

La France compte une multitude de variétés de fromage qui diffèrent de par leur goût, leur odeur, leur texture ou leur forme. En raison de cette diversité, il n'existe pas de classification simple, rationnelle et universelle. Les fromages peuvent être classés selon le type de lait employé, leur richesse en matière grasse, le mode de coagulation du lait, leur texture, leur mode d'affinage et leur aspect extérieur (McSweeney, 2004). Lenoir *et al.* (1985) donnent une vue synthétique et didactique, avec une classification de la grande diversité des fromages en France selon les modalités de coagulation, l'égouttage et l'affinage du caillé (Figure 1) (Lenoir et al., 1985).

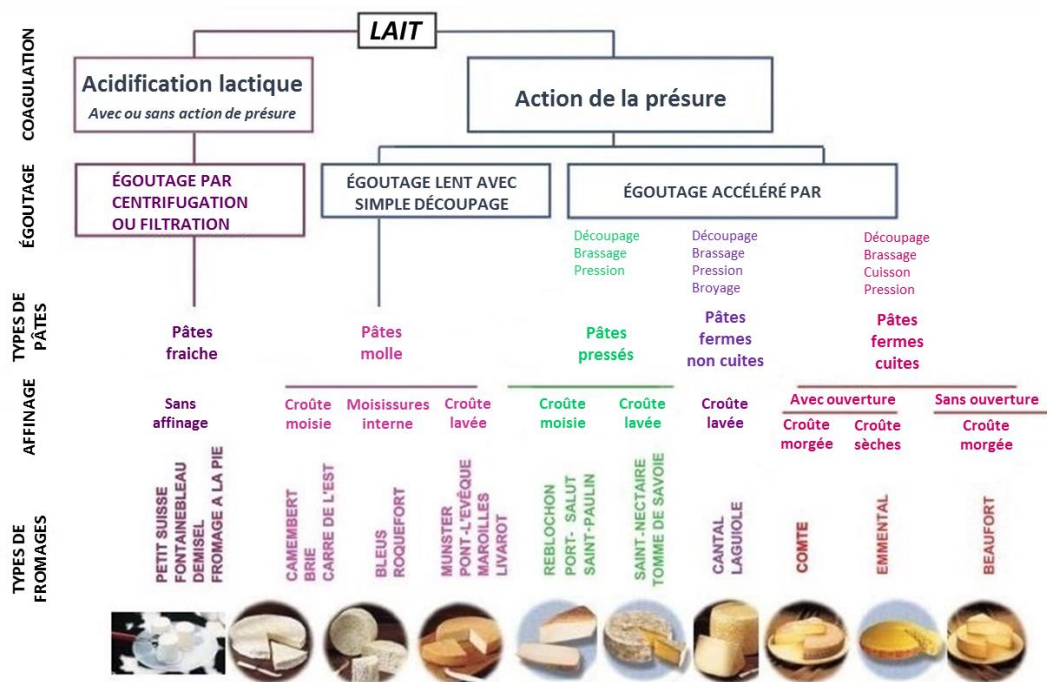


Figure 1. La Classification des fromages selon Lenoir *et al.* 1985 montrant la diversité des technologies fromagères employées en France.

En France, on compte plus de 1000 variétés de fromages, 45 bénéficient d'une Appellation d'Origine Protégée (AOP) (Figure 2). La dénomination AOP reflète une forte identité régionale des aliments qui sont produits, transformés et préparés dans une zone géographique spécifique en utilisant des savoir-faire locaux. De nombreux facteurs contribuent à la qualité spécifique des fromages AOP : le pâturage, la race, le lait cru, les procédés de transformation, l'affinage en caves naturelles ou non (Coulon et al., 2004)



Figure 2. Les Fromages bénéficiant d'une appellation d'origine protégée (AOP) en France.

Parmi ces fromages AOP, le Maroilles est un fromage typique et une spécialité incontournable de la région Hauts-de-France. C'est un fromage millénaire, il tient son nom d'une petite commune, le village de Maroilles, de la région du Thiérache, d'où il est originaire. Le Maroilles dérive d'un fromage fabriqué au VII^{ème} siècle par les moines de l'abbaye Saint-Humbert de Maroilles, le « Craquegnon ». C'est en l'an 960 sur demande d'Enguerrand, évêque de Cambrai, que le Craquegnon fut affiné plus longuement. Il prit alors le nom de Marolalo (du nom de l'antique village gaulois : « Marolalo » qui signifiait " grande clairière ") et plus tard celui de « Maroilles ». Les moines bénédictins ont favorisé très tôt une production

fromagère comme en témoignent plusieurs textes médiévaux tels la charte de Le Favril (1174) ou l'Écrit des Pâturages (1245) qui fixent les obligations réciproques des moines et des habitants de quatre villages proches de l'abbaye (Maroilles, Marbaix, Noyelles, Taisnières). Les habitants devaient transformer en fromage tout le lait le jour de la Saint-Jean (le 24 juin) pour le remettre à l'abbé le jour de la Saint-Rémy (le 1er octobre). À cette époque comme de nos jours, trois mois étaient donc nécessaires pour parfaire l'affinage et obtenir un bon Maroilles. "La merveille de Maroilles" fut introduite dans les cours seigneuriales et royales grâce aux abbés. Cette merveille était particulièrement appréciée par Charles Quint, mais également Philippe Auguste, Louis VI et François 1^{er}. Le parfum viril et puissant de ce fromage des rois lui vaut d'être qualifié de plus fin des fromages forts.

Longtemps, la production du Maroilles resta cantonnée à l'Avesnois puis au Thiérache. Ce n'est qu'à partir du XVI^{ème} siècle et jusqu'en 1918 que, grâce au progrès du transport, ce fromage fabriqué exclusivement de manière fermière associée à une production en quantité modeste commença à être commercialisé sur les étals de France.

L'appellation d'origine contrôlée (AOC) du Maroilles a été consacrée par voie judiciaire par le jugement du 17 Juillet 1955 du tribunal de première instance de Château Thierry : « le fromage fabriqué dans cette région tire donc sa valeur du cru du lait, de la flore bactérienne particulière à la région, des caves d'affinage spéciales à son sous-sol pour en faire un fromage d'un aspect et d'un goût spécial impossible à obtenir dans une autre région ». Le produit a été reconnu en AOC par Décret du 24 mai 1976. Ce label a été modifié successivement par les Décrets du 29 décembre 1986, du 03 juillet 1989 puis du 08 août 1994. Le Maroilles fait partie des 45 AOC fromagères françaises. Le Maroilles est également protégé depuis 1996 par une AOP dans l'ensemble des pays de l'Union Européenne. La dernière modification de son cahier des charges est rapportée dans le Décret n° 2015-1032 du 19 août 2015 relatif à l'appellation d'origine protégée « Maroilles » ou « Marolles ».

Cette protection correspond donc à des conditions particulières de production et d'affinage, mais également à une aire de production délimitée (Figure 3).



Figure 3. Aire de production du Maroilles, limitée à la région de la Thiérache.

L'aire de production (Figure 3) recouvre la zone d'appellation correspondant à la partie de la Thiérache qui s'étend au sud de l'arrondissement d'Avesnes (département du Nord) et au nord de l'arrondissement de Vervins (dans l'Aisne). Cette région naturelle se caractérise par un relief raviné, présentant des pentes courtes et raides, couvert de prairies et de bois. Elle possède un climat frais et humide avec d'abondantes précipitations.

En 2016, le tonnage du Maroilles AOP fabriqué a atteint 4147 tonnes avec une augmentation de 44,8% par rapport à 2006 (CNAOL, 2017). Cette augmentation de la production est due à deux facteurs principaux : 1) la création en 2008 de l'union interprofessionnelle : Syndicat du Maroilles. 2) la sortie du film "Bienvenue chez les Ch'tis" produit et réalisé par le célèbre comédien-réalisateur originaire de la région des Hauts-de-France : Dany Boon. Plus de 93% de cette production est industrielle, seuls 269 tonnes correspondent à une production fermière. Alors qu'à l'origine, le Maroilles était fabriqué à partir de lait cru, plus tard avec le développement industriel et technologique et pour des raisons de sécurité dues à l'éventuelle présence de *Listeria monocytogenes*, la fabrication du Maroilles à base de lait pasteurisé a été développée.

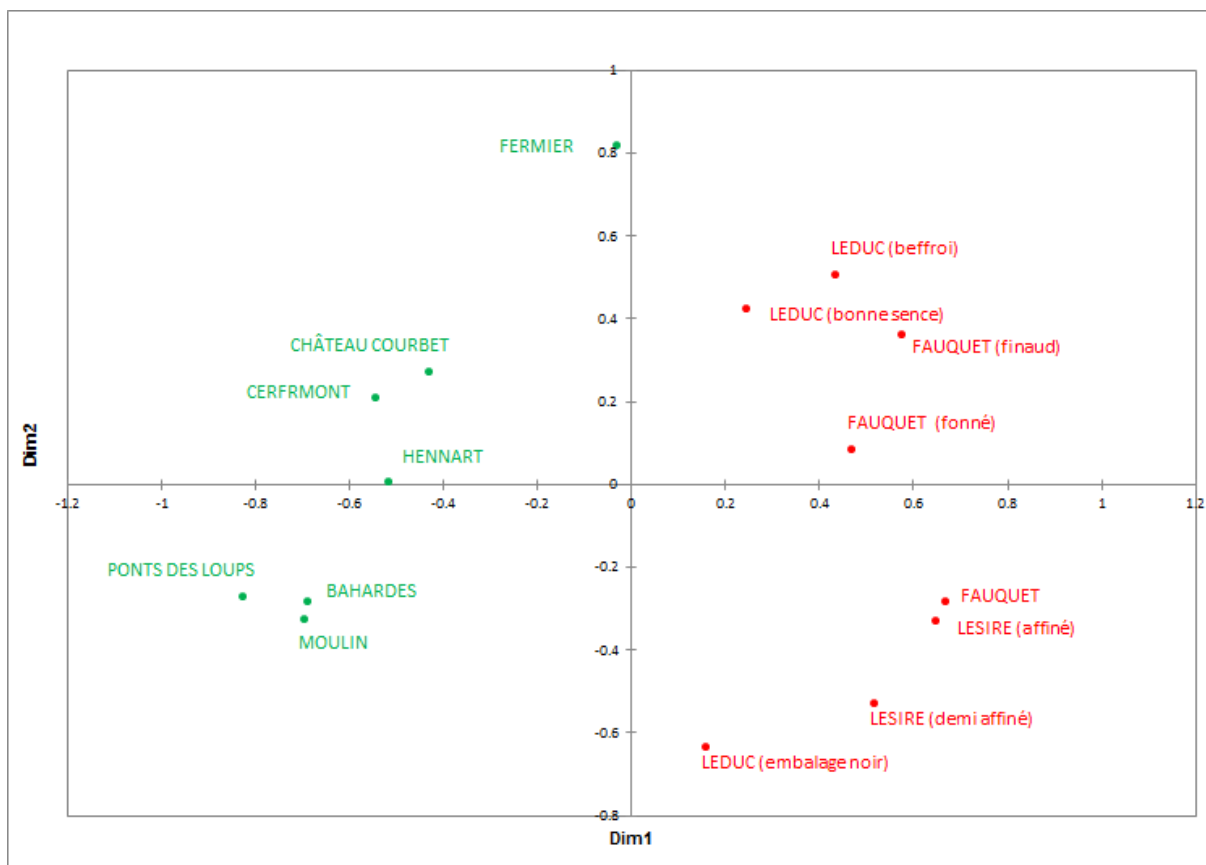


Figure 4. Une représentation par multidimensional scaling (MDS) des résultats de l'épreuve de tri d'emballages de Maroilles fermiers (vert) et industriels (rouge).

De nos jours, le Maroilles AOP peut donc être industriel ou fermier. Cependant, le Maroilles fermier représente moins de 7 % de la production totale de Maroilles. Mais est-ce que cette diversité est perçue par les consommateurs ? Ont-ils conscience de cette différenciation ? Un test de tri libre sur 15 emballages de Maroilles, avec une vingtaine de participants, nous a montré des résultats nets : nous avons observé une séparation franche entre les Maroilles fermiers et les Maroilles industriels (Figure 4) et le regroupement des Maroilles réalisé par les consommateurs était basé sur l'indication produit fermier aperçue sur l'emballage. Est-ce que cette distinction entre les produits fermiers et industriels, que nous trouvons par l'intermédiaire de l'emballage, est également perçue lors de la dégustation ? Plusieurs études décrivent les produits fermiers fabriqués à base de lait cru comme des produits avec des propriétés sensorielles distinctives et diverses (Montel et al., 2014), mais aussi plus intenses en goût (Beuvier and Buchin, 2004; Masoud et al., 2012; Yoon et al., 2016). Est-ce le cas avec le Maroilles ?

Si cette différence du point de vue sensorielle existe réellement pour le Maroilles, peut-on également la quantifier et la qualifier avec des analyses instrumentales ou biologiques (analyses physicochimiques ou microbiologiques) ? Pour exemple, des différences par analyses physicochimiques et microbiologiques ont pu être observées sur les fromages italiens le Burrata (Rea et al., 2016). Horne (2005) a également réalisé des analyses chimiques, microbiologiques et sensorielles pour étudier les composés volatils du fromage Piacentinu Ennese (Horne et al., 2005).

S'il s'avère que cette différence peut être perçue sensoriellement et mise en évidence par des paramètres physicochimiques et microbiologiques, qu'en est-il du consommateur ? la notion de Maroilles fermier représente-elle un gage de qualité ? Va-t-elle influencer ses choix, ses attentes vis-à-vis de ce fromage et ses représentations ? De plus, ces potentielles influences seront-elles région-dépendantes ? En effet, avant 2008, le Maroilles n'était connu qu'au Nord de la France ; actuellement, il se retrouve partout dans le monde, en Australie, au Japon, au Maroc... . Mais il faut se rendre à l'évidence, ce sont des quantités infimes. Aujourd'hui encore, 75 % du maroilles est consommé dans un rayon de 200 km autour de la zone d'appellation. *Le gros du marché, il est ici, chez nous* (Voix du nord, 07/10/2016). Quel est le rôle de la familiarité des consommateurs sur l'appréciation, les attentes vis-à-vis de ce fromage et leurs représentations ?

Pour tenter d'apporter quelques éléments de réponses à toutes ces questions, ce travail a imposé la mise en place d'une approche pluridisciplinaire. Ceci nous a permis d'aborder des domaines aussi divers que des analyses physiques, chimiques et microbiologiques (« manips à la paillasse »), des analyses sensorielles (« en laboratoire sensoriel »), des enquêtes consommateurs (« questionnaires sur le terrain »), ainsi que des analyses statistiques avec les logiciels XLSTAT et R afin d'identifier les relations entre tous ces éléments.

Le manuscrit débute par une revue bibliographique qui permet de situer et d'introduire nos travaux de recherche. Puis il s'organise en cinq chapitres où les données expérimentales du travail sont présentées sous forme d'articles scientifiques rédigés en anglais. Chacun de ces articles sera précédé d'une introduction et suivi d'une conclusion en

français. Le manuscrit s'achève par une discussion générale et une conclusion de nos travaux de recherche.

La **revue bibliographique** présente dans un premier temps la fabrication et l'affinage du Maroilles AOP. Dans un second temps, les méthodes d'authentification du Maroilles fermier et industriel sont abordées. La dernière partie traite de l'étude du consommateur en présentant les modèles influençant les choix alimentaires, l'effet de la familiarité sur les préférences et les attentes vis-à-vis des produits alimentaires et l'étude des représentations sociales de différents groupes de personnes par rapport à un stimulus donné.

Le **premier chapitre** porte sur la caractérisation et l'étude des éventuelles différences entre les Maroilles fermiers et industriels. Afin de mieux comprendre les Maroilles existants sur le marché, nous avons réalisé un test de tri libre avec 20 juges novices et sur 15 Maroilles issus de productions différentes. Les résultats obtenus ont été complétés par une série d'analyses physicochimiques et microbiologiques, dans le but de corrélérer les résultats entre eux (**Article 1**).

Le **second chapitre** présente une étude plus ciblée réalisée à partir de six fromages sélectionnés parmi les 15 de l'étude précédente. Cette étude a pour objectif de mettre en évidence les éventuelles relations entre les données sensorielles et analytiques. Pour cela, nous avons mis en relation, séparément, des données hédoniques (appréciations des Maroilles) et des données descriptives (profil flash) avec une série d'analyses de composition chimique, de nature physique (couleur, texture) et microbiologiques des Maroilles par la méthode statistique de Partial Least Square (PLS) (**Article 2**).

Le **troisième chapitre** expose l'étude comparative de la flore microbienne de Maroilles fermiers et industriels au travers de l'utilisation de la spectrométrie de masse de type *matrix assisted laser desorption/ionisation* (MALDI) *time of flight* (TOF) comme nouvel outil pour l'identification rapide des bactéries fromagères et sa corrélation avec la technique de biologie moléculaire classiquement utilisée (ADNr 16s) (**Article 3**).

Le **quatrième chapitre** relate une étude purement consommateur visant à étudier l'influence de la familiarité sur l'appréciation et les attentes vis-à-vis du Maroilles. Pour cela,

un test hédonique a été réalisé auprès de participants français de deux villes différentes : Lille et Angers (**Article 4**).

Pour finir, le **cinquième chapitre** présente une étude sur les représentations sociales relatives au Maroilles fermiers mettant ainsi en exergue l'influence de l'expertise sur les représentations sociales. Pour cela, différents groupes de consommateurs variant selon leur degré d'expertise (Professionnels, habitants de la Thiérache, Lillois et Angevins) ont participé à une tâche d'association avec comme mot inducteur 'Maroilles fermier' (**Article 5**).

La **discussion générale**, comporte une analyse récapitulative de l'ensemble de résultats obtenus lors de nos travaux, de manière à les mettre en perspectives en comparaison aux données de la littérature existante. Ce manuscrit se termine par une **conclusion générale** et les perspectives en relation avec la problématique de la thèse.

REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

1 Fabrication et affinage du Maroilles

Quatre éléments principaux interviennent dans la fabrication du fromage : le lait, la présure, les micro-organismes et le sel (Beresford et al., 2001). La fabrication du Maroilles peut être fermière ou industrielle, avec des étapes de fabrication similaires à l'exception du prétraitement industriel du lait. Les étapes communes sont la coagulation, l'égouttage et le moulage, le salage et l'affinage (Figure 5.)

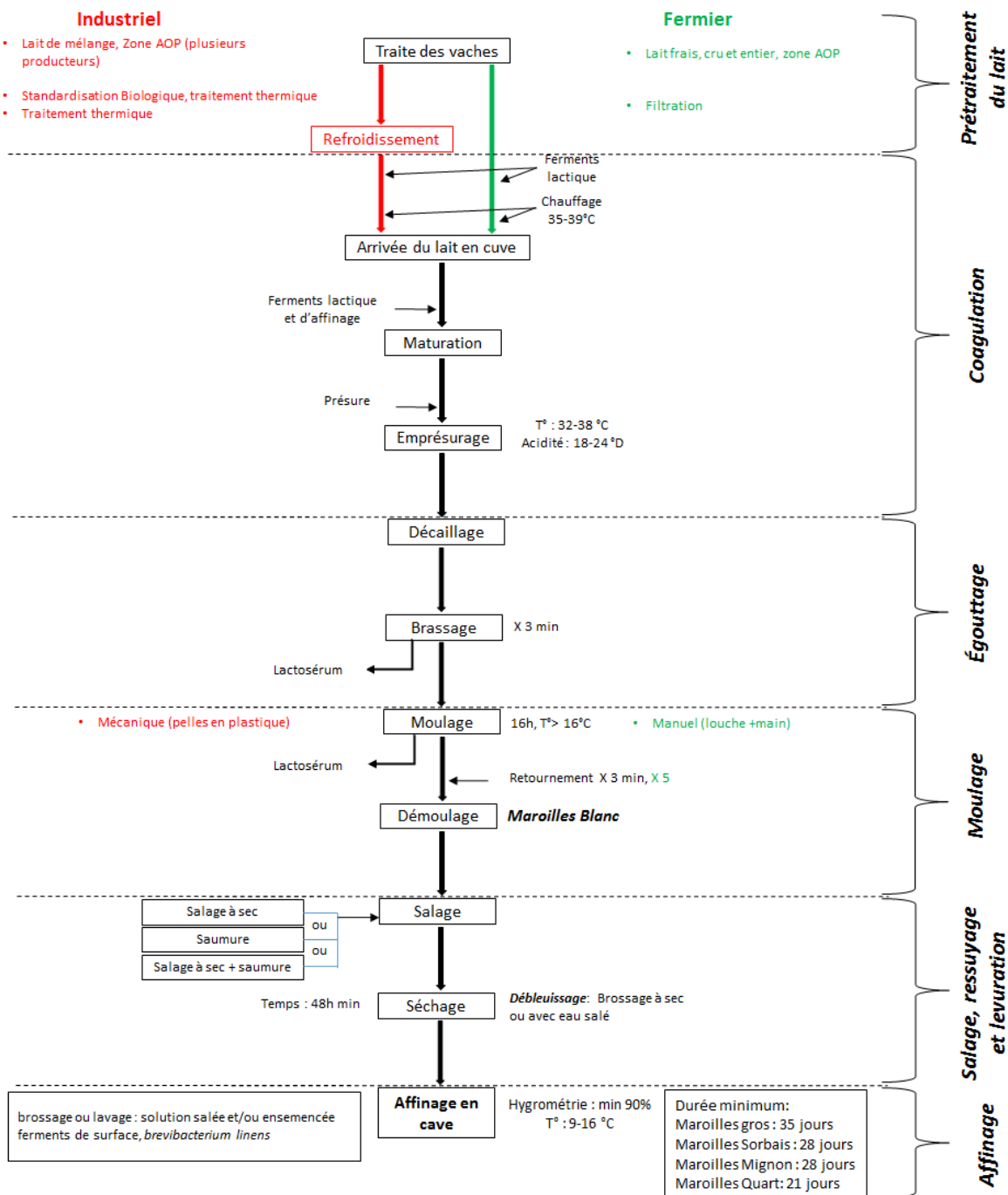


Figure 5. Les étapes de fabrication du Maroilles fermier et industriel.

1.1 Le Prétraitement du lait

1.1.1 Production fermière

La filière fermière utilise du lait de vache frais (cru) en provenance des pâturages protégés par l'AOC et l'AOP. La composition du lait dépend de plusieurs facteurs comme la saisonnalité ou le fond génétique des vaches (races). La variabilité de la matière première est en conséquence importante. Après la traite, le lait cru est filtré et est directement utilisé pour la production du Maroilles.

1.1.2 Production industrielle

Le lait provient de plusieurs éleveurs de la zone AOC. Après réception, afin de le conserver tout en le préservant, le lait est stocké et réfrigéré à +4°C sous agitation permanente pour éviter la remontée des globules gras, cette conservation à basse température va être limitée dans la durée < 72h pour éviter la fuite de β -caséines des micelles. En effet, certains auteurs ont constaté une fuite de la β -caséine de la micelle vers le sérum lors de la conservation du lait à basse température (Davies et al., 1980; Walstra et al., 1985; Balde, 2017).

Au niveau industriel, à la variabilité évoquée ci-dessus s'ajoute la variabilité dû à la collecte sur plusieurs laiteries ou producteurs. La mise en œuvre d'une matière première standardisée «un lait standard», dont le comportement est chaque jour identique est indispensable. Le lait subit alors deux étapes de standardisation afin de produire des fromages de composition, de qualité organoleptique et hygiénique constante et irréprochable.

1.1.1.1 La standardisation biologique

Les traitements du lait sont nécessaires dès qu'il y a collecte, transport ou stockage. Les industriels réalisent des traitements thermiques sur les laits réfrigérés afin de détruire la flore et les enzymes ou inhibiteurs indésirables pour mieux contrôler les grandes étapes de fabrications (Kongo, 2013; Mahaut et al., 2000). Les traitements thermiques du lait utilisés en fromagerie sont la pasteurisation et la thermisation :

- La **pasteurisation** est un traitement thermique d'une durée de 15 à 20 secondes à des températures comprises entre 72 et 75 °C (couple temps/température) qui permet l'élimination des bactéries sensibles,

- La **thermisation** est un procédé moins intense que la pasteurisation qui consiste à éliminer les bactéries sensibles à des températures comprises entre 62 et 65 °C et avec un temps de 15 secondes.

1.1.1.2 La standardisation moléculaire

La standardisation moléculaire des laits a pour objectif d'obtenir un lait standardisé contenant un taux butyreux de 29 g/L, correspondant à un taux de matières grasses par rapport à l'extrait sec de 45% au minimum. Notons, que la standardisation en matières protéiques est strictement interdite.

1.2 La coagulation

La coagulation est un changement correspondant au passage de l'état liquide du lait au repos à un état solide. Le caillé se forme par acidification du lait par les bactéries lactiques et/ou l'action d'enzymes coagulantes comme la présure (Beresford and Williams, 2004; McSweeney and Fox, 2013). Le gel formé ou caillé ou coagulum est un réseau tridimensionnel protéique formé par l'établissement de liaisons non-covalentes de types hydrogènes, ioniques et hydrophobes au sein des caséines micellaires dénaturées par l'acidité et/ou l'action des enzymes (Figure 6).

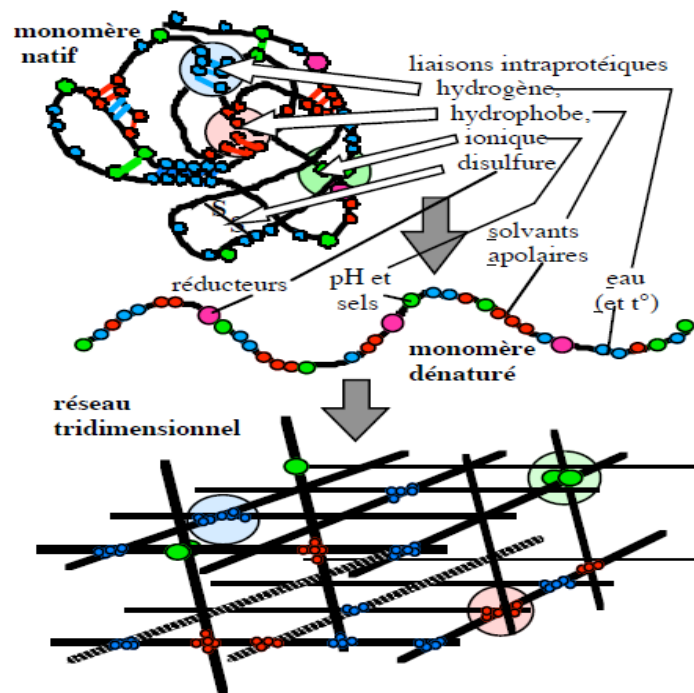


Figure 6. Illustration des mécanismes moléculaires mis en jeu lors de la coagulation des caséines du lait.

Les protéines du lait conditionnent fortement le rendement fromager. Elles sont constituées de :

- 80% de caséines (Davies and Law, 1980; Lucey and Singh, 1997), l'élément noble dans la transformation fromagère,
- 20% de protéines solubles, la β -lactoglobuline et l' α -lactalbumine qui sont les plus importantes (Davies and Law, 1980; O'mahony and Fox, 2013) et des protéines mineures telles que l'albumine de sérum bovin (ASB), les immunoglobulines (Amiot et al., 2002; O'mahony and Fox, 2013) et la lactoferrine (Amiot et al., 2002).

Il existe plusieurs types de caséines : α , β , γ , et κ qui s'agglomèrent spontanément en sub-micelles qui à leur tour s'organisent *via* des liaisons minérales phosphocalciques pour former une micelle. Quand les micelles sont déstabilisées (acidification à pH 4,6 et 20°C ou action de la présure), le lait caille.

On distingue trois types de coagulation.

1.2.1 La coagulation lactique ou par acidification (Figure 7)

Cette coagulation se fait sous l'action des bactéries lactiques qui dégradent le lactose du lait en acide lactique. L'acidification progressive du lait entraîne une agrégation des micelles de caséines entre elles. Une fois le point isoélectrique des caséines atteint (pH 4,6), la totalité du phosphate de calcium est dissout et les micelles sont complètement déstructurées (Abbas, 2012). La neutralisation des charges est complète et les répulsions électrostatiques sont inexistantes. Les micelles de caséines flocculent et se soudent formant ainsi au repos un gel homogène de type acide.

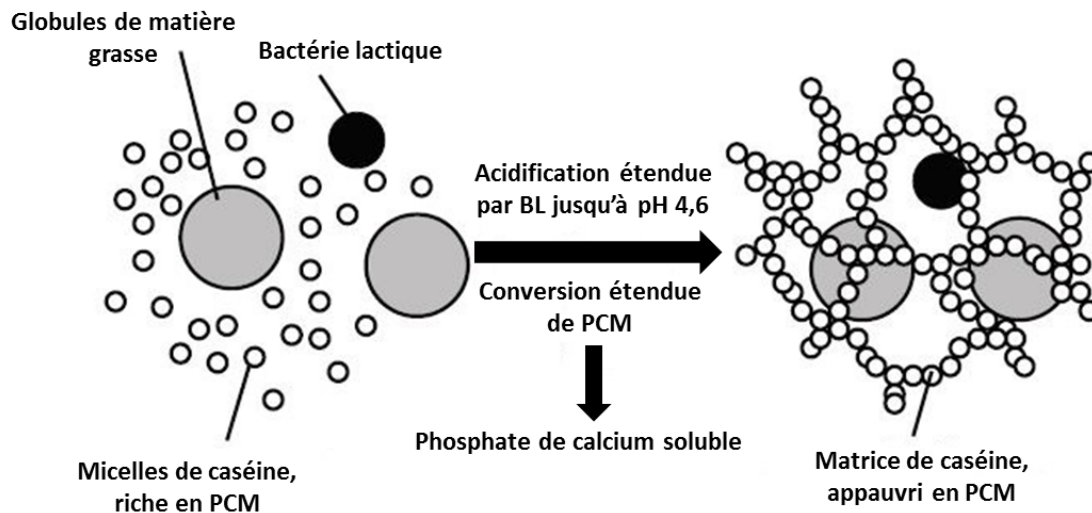


Figure 7. Représentation schématique du processus de coagulation lactique ou par acidification (Kindstedt, 2014). PCM : Phosphate de Calcium Micellaire, BL : Bactérie lactique.

1.2.2 La coagulation par voie enzymatique (Figure 8)

Il existe un grand nombre d'enzymes protéolytiques coagulantes, d'origine animale, végétale ou microbienne, ayant la propriété de coaguler le lait ; la présure d'origine animale est l'agent le plus utilisé en fromagerie (St-Gelais and Tirard-Collet, 2002). Elle comporte deux fractions actives, l'une, majeure, la chymosine, l'autre mineure, la pepsine.

la chymosine est une endopeptidase, qui par une réaction d'hydrolyse spécifique ciblant la liaison peptidique Phe105-Met106 de la caséine κ ; déstabilise les caséines et permet ainsi la gélification du lait (Farkye, 1999). Ce type de coagulation est influencé par l'acidification, la concentration en Ca et la température (Brûlé et al., 1997). Elle permet une coagulation rapide en quelques minutes, contrairement à la coagulation lactique qui demande plusieurs heures. Le gel « présure » est souple ; très cohésif ; imperméable et contractile (Eck, 1990; Lenoir et al., 1985; Mahaut et al., 2000).

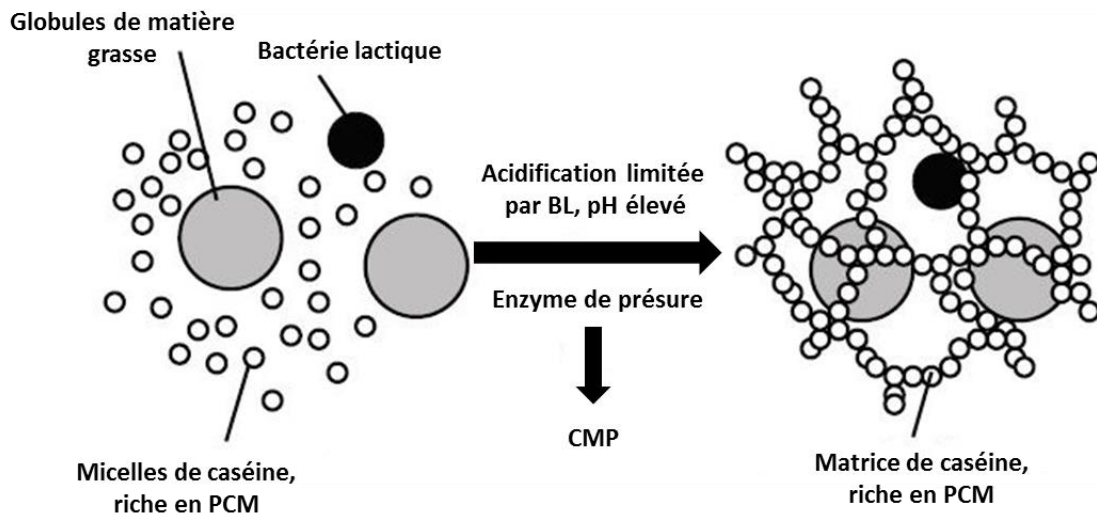


Figure 8. Représentation schématique du processus de coagulation enzymatique (présure) (Kindstedt, 2014). PCM : Phosphate de Calcium Micellaire, CMP : Casino-Macropéptide, BL : Bactérie lactique.

1.2.3 La coagulation mixte : le cas du Maroilles

Selon Ramet (1997), dans la fabrication des fromages à pâte molle et à croûte lavée (comme le Maroilles) la coagulation des protéines est dite mixte. Elle est effectuée par l'action conjointe des enzymes coagulantes et de l'acide lactique. Brièvement, le lait passe par une 1^{ère} phase **d'acidification** qui se fait par ensemencement de ferments lactiques en majorité mésophiles. Cette étape est réalisée dans les 72 heures qui suivent la traite la plus ancienne. Les laits peuvent être égalementensemencés en flores spécifiques d'affinage notamment en production industrielle.

L'emprésurage du lait chauffé à une température comprise entre 32 et 38 °C et à un pH compris entre 6,35 et 6,65 est réalisée exclusivement avec de la présure issue de caillette de veau. Cette étape conduira à la coagulation des caséines du lait. Le coagulum obtenu présente des caractéristiques intermédiaires entre celles des coagulums obtenus par acidification et ceux obtenus par ajout de présure. Ce coagulum mixte est caractérisé par une souplesse et une contractilité moindre mais aussi par une fermeté et une friabilité plus accentuées que celles des coagulums obtenus par emprésurage (Veisseyre, 1975).

À l'issue de l'étape de coagulation, le lait est à l'état semi-solide et les propriétés physicochimiques du gel formé conditionnent l'aptitude à l'égouttage et les caractéristiques finales du fromage.

1.3 L'égouttage et le moulage

1.3.1 L'égouttage

L'égouttage du coagulum est un phénomène dynamique et se fait de manière spontanée. C'est une étape de concentration de certains constituants du coagulum par un phénomène physique de rétraction qui s'accompagne de l'expulsion passive du lactosérum liée à la porosité et à la perméabilité du coagulum, c'est la synérèse (Colin, 1990; Walstra et al., 1985). Sous l'effet conjugué de la présure, de l'acidité et de la température, les liaisons moléculaires qui se créent entre les caséines et les minéraux provoquent une contraction du réseau qui expulse l'eau et la plus grande partie des éléments du lait (lactose, sels minéraux) et quelques fractions solubles mineurs (protéines solubles) sont expulsées du coagulum avec l'eau (Abbas, 2012). L'évacuation du lactosérum conduit à la formation d'un caillé (Fox and McSweeney, 2004).

Selon le type de coagulation mis en jeu, l'aptitude à l'égouttage des coagulums est différente. Les coagulums lactiques sont plus perméables tandis que les coagulums emprésurés doivent être traités mécaniquement pour permettre l'égouttage. Les coagulums mixtes ont une aptitude à l'égouttage intermédiaire. Le caillé peut subir différentes actions mécaniques (brassage, tranchage, broyage, pressage) qui accélèrent le phénomène et fixe les caractéristiques physiques (pH et l'activité de l'eau " a_w ") et chimiques du caillé et par conséquent influencent l'affinage du fromage (Ramet, 1997b).

Le Maroilles est un fromage à coagulation mixte où le coagulum subit ensuite un tranchage à l'aide d'un tranche-caillé en inox en petits cubes d'un centimètre de côté. Ce décaillage a pour but d'accélérer la synérèse et sera complété par une opération de brassage permettant de raffermir le caillé qui pourra ainsi être moulé.

1.3.2 Le moulage

Le moulage ou la mise en moule est une opération fondamentale. Les grains de caillé sont versés dans les moules avec une louche, puis répartis et égalisés manuellement dans les

fermes artisanales, tandis qu'en industrie, les producteurs possèdent des rehausseurs (équipés de pelles en plastique), facilitant la mise en moule. C'est l'étape qui donne la forme du Maroilles et permet la régulation du drainage du lactosérum.

L'égouttage en moules est réalisé avec une température qui n'est pas inférieure à 16°C et il est complété par au minimum de trois retournements afin de conserver la forme standard du Maroilles. Pour conserver cette forme standard, les producteurs fermiers utilisent quant à eux jusqu'à cinq retournements.

1.4 Le salage, le ressuyage et le levurage

Après un temps minimum de 16 heures en moules, le Maroilles est démoulé. Il est alors de couleur blanche et possède déjà sa forme définitive. Deux procédés de salage peuvent être utilisés pour ce Maroilles dit « blanc » : le salage par saumurage pour lequel les fromages sont immergés dans une solution habituellement saturée en chlorure de sodium et/ou par le salage à sec. Pour la production fermière, les fromages sont salés à la main. Par contre, cette étape est mécanisée pour la production industrielle.

Le salage une étape indispensable à la fabrication des produits affinés. Il permet de compléter l'égouttage et contribue à la formation de la croûte. Cette opération permet non seulement de saler le fromage mais aussi de diminuer l'activité de l'eau à l'intérieur du futur Maroilles. En effet le sel régule l'activité de l'eau (diminue l'humidité) (Mistry and Kasperson, 1998; Schroeder et al., 1988), module le développement des micro-organismes et favorise les activités enzymatiques au cours de l'affinage. L'ajout de sel permet donc, la sélection et la régulation de la flore d'affinage (Hardy, 1997). Selon sa concentration, le sel exerce une action microbienne sélective et un effet inhibiteur de l'activité des enzymes protéolytiques (protéolyse) (Mansour and Alais, 1971). Un salage assez prononcé limite ou même empêche la croissance de *Geotrichum candidum* sans affecter notablement celle de *Penicillium* (Guéguen and Schmidt, 1992).

La phase de ressuyage et de levuration démarre après la fin du salage à sec. Les fromages sont mis au minimum 48 heures dans un local dédié le séchoir (ou hâloir) avant qu'ils ne soient transférés dans la cave d'affinage. À ce stade, les fromages obtenus sont des Maroilles frais. C'est la phase dite « du bleu » qui commence. Durant ce temps au séchoir, la

croûte, sous l'action de levures et de moisissures (spores du *penicillium* superficiel), acquière une couleur bleu-vert. La « poussée du bleu », comme nommée dans le milieu professionnel, neutralise l'acidité des fromages et son apparition indique que la totalité de l'acide lactique et des lactoses a été transformée. Le but du séchage est donc de diminuer l'humidité contenue dans le fromage et de détruire le reste de l'acide lactique et de lactose.

Le « débleuissage » s'effectue par brossage avec une brosse à sec ou avec une eau légèrement salée créant un milieu favorable au processus d'affinage. Les fromages débleuis restent encore quelques jours au séchoir puis sont descendus en cave pour subir la phase d'affinage.

1.5 L'affinage

La dernière étape primordiale est l'affinage qui se déroule dans les caves d'affinage qui peuvent être en briques nues, en briques et en pierres nues ou en matériaux hygiéniquement inertes. Elles sont maintenues à une humidité minimum de 90 % et à des températures comprises entre 9 °C et 16 °C. Les caves d'affinage traditionnelles sont voûtées, en briques et semblent réunir toutes les conditions de l'affinage idéal. En effet, les plafonds bas permettent à l'ammoniaque produit par les vieux fromages d'être maintenu au niveau des Maroilles jeunes où il assure ainsi la neutralisation du pH de la croûte. La texture poreuse des briques permet de contrôler l'hygrométrie. Les caves conservent une humidité constante, en libérant les excès d'eau vers l'extérieur. Pour mener à bien l'affinage, une rotation des Maroilles est réalisée au sein de la cave. Les Maroilles blancs (les plus jeunes) sont mis à proximité des Maroilles affinés.

C'est l'étape la plus complexe et la plus longue de la fabrication. Elle dépend de chaque caractéristique physicochimique et microbiologique du fromage (Bennett and Johnston, 2004). L'affinage correspond à des cascades de réactions biochimiques, réalisées à la fois 1) par les enzymes endogènes du lait ou présentes dans le caillé, 2) par l'action de la présure et 3) par le développement d'une flore microbienne secondaire (bactéries lactiques, bactéries lactiques non originaires d'un levain (NSLAB de l'anglais non-starter lactic acid bacteria) et bactéries non lactiques) et fongique. Ces diverses réactions biochimiques donneront les

caractéristiques organoleptiques et texturales du fromage (Choisy, Desmazeaud, Guéguen, et al., 1997; Fox and McSweeney, 2004; Mahaut et al., 2000; Molimard et al., 1995).

1.6 Les agents d'affinage

Les agents d'affinage sont les enzymes du lait et les micro-organismes natifs ou ensemencés. Ils agissent sur le substrat constitué par le caillé et sont conditionnés par les facteurs environnementaux de l'affinage, comme la température, la composition de l'air et l'humidité relative. Ces trois éléments, agents d'affinage, environnement et substrat interagissent entre eux pour donner toutes les caractéristiques des fromages. Le fromage est donc un bioréacteur constituant un écosystème complexe. Les changements microbiologiques et biochimiques vont apparaître de manière progressive et sont impliqués dans la formation et le développement des arômes ainsi que des caractéristiques texturales (Bord, 2015).

1.6.1 La flore bactérienne

Le fromage est un écosystème de faite de la diversité de son microbiote. Les bactéries, moisissures et levures cohabitent sur la croûte et à l'intérieur même du fromage (Morel, 2012). Une étude réalisée par Michel *et al.* (2001) a révélé une diversité importante des différents micro-organismes présents dans les laits crus de vaches prélevés en fin de traite (Michel et al., 2001).

Les traitements thermiques auxquels le lait est soumis réduisent fortement la flore indigène, la rendant inefficace, incontrôlable, imprévisible ou détruite. Le rôle principal des ferments est de mener à terme le procédé de fermentation selon les propriétés souhaitées dans le produit fini (Carminati et al., 2010; van Hylckama Vlieg and Hugenholtz, 2007).

La flore microbienne se décompose en deux catégories qui sont la flore des ferments lactiques et la flore secondaire.

- Les ferments lactiques sont impliqués à la fois dans l'acidification et dans la maturation des fromages,
- La flore secondaire est principalement impliquée dans l'affinage. Cette dernière regroupe les bactéries lactiques non originaires d'un levain, les autres bactéries

(bactéries de surface et bactéries propénoïques) et les levures et/ ou les moisissures (Beresford et al., 2001).

Dans le cas des fromages à pâte molle et à croûte lavée, la flore d'affinage est composée essentiellement de bactéries lactiques, de bactéries d'affinage (surface) et de levures.

1.6.1.1 Les bactéries lactiques

Les bactéries lactiques constituent les genres : *Lactobacillus*, *Lactococcus*, *Carnobacterium*, *Enterococcus*, *Lactosphaera*, *Leuconostoc*, *Melissococcus*, *Oenococcus*, *Pediococcus*, *Streptococcus*, *Tetragenococcus*, *Vagococcus* et *Weissella*. Récemment d'autres genres ont été inclus dans le groupe des bactéries lactiques : *Aerococcus*, *Microbacterium*, *Propionibacterium* et *Bifidobacterium* (Carr et al, 2002).

Ce sont des bactéries à Gram-positif, catalase-négatives, non sporulées, micro-aérophiles ou anaérobies facultatives, en forme de coques ou de bâtonnets et leur produit majeur du métabolisme est l'acide lactique. Les genres des bactéries lactiques ont été organisés dans un arbre phylogénique grâce à une classification qui se base sur le séquençage de l'ARNr 16S (Figure 9). Cette flore contribue à la fabrication des fromages en acidifiant le lait et en dégradant les protéines grâce à son potentiel protéolytique. Pour les fromages à pâte molle, des études ont été menées sur les fromages à croûte fleurie de type Camembert (Richard and Gratadoux J., 1984) mais aussi dans des fromages à croûte lavée de type Livarot (Mounier et al., 2009). L'espèce majoritairement présente dans ces fromages est *Lactococcus lactis* (Corroler et al., 1998; Lange et al., 1994; Tormo, 2010).

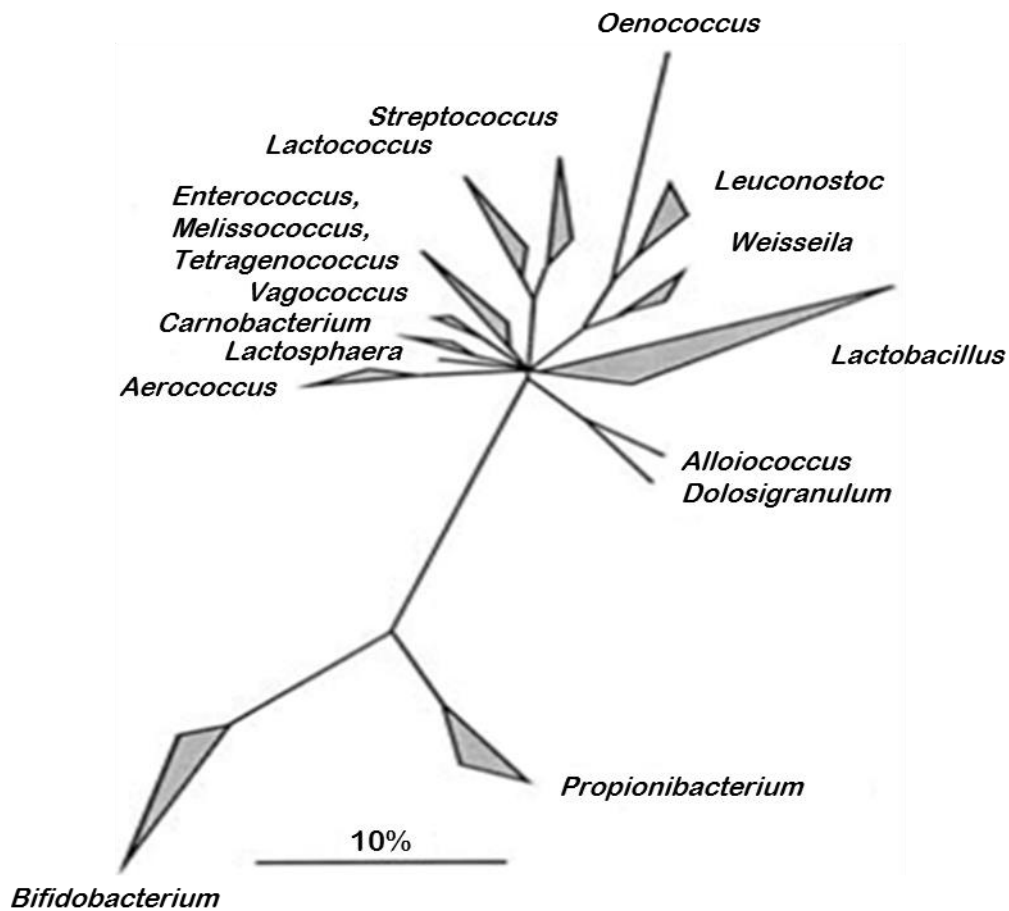


Figure 9. Arbre phylogénétique des bactéries lactiques (Schleifer et al., 1995).

Dans le processus de transformation du lait en fromage, la flore lactique est la première flore à intervenir ; la croissance et l'action acidifiante des bactéries lactiques commencent dès leur ensemencement dans le lait. Selon Garabal, (2007), les bactéries majeures de cette flore comprennent des souches, plus ou moins, acidifiantes comme *Lactobacillus lactis*, *Streptococcus thermophilus*, *Lactobacillus delbrueckii*, *Lactobacillus helveticus* et *Enterococcus spp.*, ainsi que quelques espèces de lactobacilles NSLAB (*Leuconostoc spp.*, *Lactobacillus casei*, *Lactobacillus curvatus*, *Lactobacillus brevis*, *Lactobacillus plantarum*, *Lactobacillus paracasei*, *Lactobacillus salivarius*, et *Lactobacillus rhamnosus*). Notons, que *Lactobacillus casei ssp.*, *Lactobacillus pseudopantarum*, *Lactobacillus paracasei ssp.*, *Lactobacillus plantarum* et *Lactobacillus curvatus* sont les espèces les plus couramment isolées et sont pour la plupart des bactéries hétéro-fermentaires facultatives.

Quant aux bactéries lactiques de type NSLAB, elles désignent les *Pediococcus* ainsi que certaines espèces de *Lactobacillus* mésophiles homo- ou hétéro-fermentaires. C'est une flore lactique dite « fortuite » qui peut croître dans des conditions sélectives lors de l'affinage des fromages, contrairement aux levains lactiques (Cholet, 2006). Ces lactobacilles sont habituellement présents suite à une contamination après pasteurisation, mais constituent également une partie de la flore du lait qui résiste à la pasteurisation (Martley and Crow, 1993).

Inversement, par définition, un ferment lactique (levain) est une préparation microbienne comprenant une seule ou plusieurs espèces qui est ajoutée à une matière première (lait) pour produire un aliment fermenté en accélérant et en orientant son processus de fermentation (Hassan and Frank, 2001; Leroy and De Vuyst, 2004). Deux types de ferments sont employés : les levains mésophiles et les levains thermophiles (Cogan M., 1980).

Les levains mésophiles (*Lactococcus*, *Leuconostoc*) sont utilisés pour les fromages où la température des caillés ne dépasse pas 40 °C pendant la phase d'acidification, alors que **les levains thermophiles** (*Streptococcus thermophilus*, *Lactobacillus helveticus*, *Lactobacillus delbrueckii*) sont plutôt employés dans des variétés de fromage avec une température dépassant 40 °C en début de fabrication (Fleet, 1999; Parente and Cogan, 2004).

Les bactéries lactiques jouent un rôle essentiel dans le processus d'acidification du lait et du caillé. Elle dégrade le lactose, disaccharide majoritaire du lait, pour produire de l'acide lactique. Ces bactéries lactiques sont de par leurs aptitudes protéolytiques et lipolytiques, des agents de l'affinage des fromages (développement du goût, des arômes et de la texture). Les peptides, acides aminés, acides gras et leurs produits de dégradation générés au cours de l'affinage, participent au développement de la saveur, de l'arôme ou des précurseurs d'arômes des fromages affinés (Coker et al., 2005; Fox and Wallace, 1997; Gobbetti et al., 2007). De même, les bactéries lactiques produisent de nombreux métabolites ayant une activité antimicrobienne comme des acides organiques, du peroxyde d'hydrogène, du dioxyde de carbone, de la reutéline, du diacétyle et des bactériocines (Dortu and Thonart, 2009; Moraes et al., 2010).

1.6.1.2 Les bactéries de surface

Les bactéries de surface sont des bactéries qui appartiennent principalement à trois groupes : les bactéries à Gram-négatif, les staphylocoques et les bactéries corynéformes (Goerges et al., 2008; Irlinger and Mounier, 2009; Mounier et al., 2005, 2009).

1.6.1.2.1 La flore bactérienne à Gram négatif

La flore bactérienne à Gram-négatif se développe au cours de l'affinage majoritairement à la surface des fromages à pâte molle. Cette flore comprend trois familles : les Enterobacteriaceae, les Moraxellaceae et les Pseudomonadaceae parmi lesquelles la famille des Enterobacteriaceae est la plus fréquemment trouvée.

Les bactéries à *Gram négatif* ont la particularité de se retrouver aussi bien à la surface des fromages qu'au cœur des fromages (Montel et al., 2014). Pour le Pont l'Évêque (Coiffier, 1992) ou le San Simon (Tornadijo et al., 2001), les espèces retrouvées ont des pourcentages de répartition différents entre la pâte et la croûte. À la surface de ces deux types de fromages, les espèces dominantes sont *Citrobacter freundii*, *Hafnia alvei* et *Klebsiella oxytoca*. Au niveau du cœur fromages, les espèces telles que *Escherichia coli*, *Hafnia alvei* et *Klebsiella oxytoca* sont souvent retrouvées (Coiffier, 1992; Tornadijo et al., 2001). Des études récentes sur *Hafnia alvei*, *Psychrobacter sp* ou encore *Proteus vulgaris* montrent un impact positif sur la production de composés d'arôme (Deetae et al., 2007, 2009; Fontana et al., 2010; Irlinger et al., 2012). Ces espèces possèdent des propriétés protéolytiques (Chaves-López et al., 2006; Morales et al., 2003) et lipolytiques (Chaves-López et al., 2006; Morales et al., 2004, 2005) impliquées dans le processus d'affinage de fromage.

1.6.1.2.2 Le genre Staphylococcus

Les staphylocoques comme les bactéries corynéformes (section suivante) présentent certains caractères physiologiques similaires, ils sont le plus souvent aérobies, mésophiles, halotolérants et acido-sensibles, ils se développent dans une zone de pH proche de la neutralité (6 à 8,5) ce qui explique leur capacité à s'implanter à la surface des fromages.

Les staphylocoques font partie des Gram positif. En général, on les associe à des pathogènes, particulièrement *Staphylococcus aureus*. Néanmoins, il existe des espèces non-

pathogènes à coagulase négative qui sont présentes dans les fromages (Irlinger, 2008). *Staphylococcus equorum*, *Staphylococcus vitulinus* et *Staphylococcus xylosus* sont les espèces les plus fréquemment retrouvées dans les fromages à croûte lavée (Hoppe-Seyler et al., 2004; Irlinger et al., 1997). Ces bactéries se développent en début d'affinage de manière limitée (très petit nombre) (Brennan et al., 2002). La plupart des souches sont halophiles/halotolérantes (Mounier et al., 2007), se multiplient activement en présence de 10% de NaCl et à des températures comprises entre 18 et 40 °C (Choisy, Desmazeaud, Guéguen, et al., 1997). Les staphylocoques possèdent des propriétés lipolytiques et protéolytiques qui participent au processus d'affinage (Bockelmann and Hoppe-Seyler, 2001; Curtin et al., 2002).

1.6.1.2.3 Les bactéries corynéformes

Les bactéries corynéformes sont les bactéries les plus fréquemment retrouvées dans les fromages. Cette flore appartiendrait aux genres *Brevibacterium*, *Micrococcus*, *Arthrobacter*, *Brachybacterium*, *Microbacterium* ou encore *Corynebacterium* (Irlinger et al., 2015). Des études ont permis d'identifier à la surface de fromage des espèces de bactéries Corynéformes telles qu'*Arthrobacter arilaitensis* et *Arthrobacter bergerei* (Irlinger et al., 2005), *Corynebacterium casei* (Brennan, Brown, Goodfellow, Ward, Beresford, Simpson, et al., 2001), *Corynebacterium mooreparkense* et *Microbacterium gubbeenense* (Brennan, Brown, Goodfellow, Ward, Beresford, Vancanneyt, et al., 2001) et *Brevibacterium aurantiacum* (Gavriš et al., 2004; Mounier et al., 2007; Rea et al., 2007).

Plusieurs auteurs rapportent la présence de souches d'*Arthrobacter*, particulièrement d'*Arthrobacter nicotianae* à la surface des fromages à croûte lavée (Corsetti et al., 2001; Eliskases-Lechner and Ginzinger, 1995a; Feurer et al., 2004; Valdés-Stauber et al., 1997) ou à croûte fleurie (Marcellino and Benson, 1992). Deux nouvelles espèces, isolées de la surface de fromages à croûte lavée ont récemment été décrites. Il s'agit d'*Arthrobacter arilaitensis* et *Arthrobacter bergerei* (Feurer et al., 2004; Irlinger et al., 2005).

Parmi les bactéries corynéformes du fromage ; le genre le plus étudié est *Brevibacterium*. Bien que la souche de référence du genre *Brevibacterium* est *Brevibacterium linens*, c'est *Brevibacterium aurantiacum*, qui est la plus représentée en surface des fromages (Gavriš et al., 2004; Rea et al., 2007). En effet, *Brevibacterium linens* a été longtemps considérée, à tort, comme la souche majoritairement rencontrée à la surface des fromages.

Néanmoins Gavrish et al., (2004) ont proposé de scinder l'espèce *Brevibacterium linens* en quatre espèces différentes. Trois nouvelles espèces ont ainsi été décrites : *Brevibacterium aurantiacum*, *Brevibacterium antiquum* et *Brevibacterium permense*. Il se pourrait donc qu'un très grand nombre de souches isolées de fromages et identifiées comme *Brevibacterium linens* soient reclassées dans l'espèce *Brevibacterium aurantiacum* (Cholet, 2006).

La désacidification progressive (consommation du lactate et la production d'ammoniac) de la surface des fromages par les levures permet l'implantation et le développement de la flore bactérienne acido-sensible comme les bactéries Corynéformes et les staphylocoques (Corsetti et al., 2001; Eliskases-Lechner and Ginzinger, 1995a). Ces dernières ont une implication active dans l'affinage des fromages, elles participent à la pigmentation des fromages. Les Brevibacteriaceae produisent des caroténoïdes aromatiques, à l'origine de la pigmentation orangée caractéristique de la croûte de fromages comme le Livarot, le Maroilles ou le Munster (Dufossé et al., 2005; Galaup et al., 2007; Jones et al., 1973). Elles sont surtout capables de produire des composés soufrés qui renforcent les caractères "fromager" et "affiné" d'un fromage (Arfi et al., 2003, 2005; Rattray and Fox, 1999). Elles possèdent des activités estérolytiques, peptidolytiques conduisant ainsi à la synthèse de composés d'arômes qui participent à la flaveur des fromages (Lambrechts & Galzy, 1995; Lambrechts et al., 1995; Curtin et al., 2002; Adamitsch et al., 2003).

1.6.1.3 Les levures

Les levures sont naturellement présentes dans le lait et peuvent être utilisées comme ferments (Forquin, 2010). Leur présence dans les fromages au lait cru et dans les fromages au lait pasteurisé est due à leur caractère acido-tolérant. Les espèces les plus fréquemment isolées et identifiées en fromagerie appartiennent aux genres *Candida*, *Debaryomyces*, *Geotrichum*, *Kluyveromyces*, *Saccharomyces*, *Torulaspora* et *Yarrowia* (FRÖHLICH-WYDER, 2003; Mounier et al., 2009). Parmi les facteurs qui déterminent la croissance des levures on trouve l'acidité, la température, la teneur en sel, mais aussi la teneur en oxygène (Choisy, Desmazeaud, Guéguen, et al., 1997; Forquin, 2010).

Les principales sources de contamination en levures proviennent de la saumure (Viljoen et al., 2003) et de l'environnement de fabrication et d'affinage (Baroiller et al., 1990; Fleet, 1990; Viljoen et al., 2003). Pour un même type de fromage, il peut exister des variations,

d'un atelier à l'autre, voire d'un fromage à l'autre au sein d'un même atelier (Eliskases-Lechner and Ginzinger, 1995b). Dans les fromages à pâte molle, on estime que les concentrations en cellules viables sont de 100 à 1000 fois plus importantes sur la croûte qu'au cœur de la pâte (Chamba and Irlinger, 2004; Leclercq-Perlat et al., 2004; Lenoir et al., 1983). La flore levurienne dominante des différents types de fromages est constituée d'espèces du genre *Kluyveromyces* et/ou de *Debaryomyces* et de leurs formes imparfaites. À côté de cette flore dominante, cohabitent des souches appartenant essentiellement aux genres *Geotrichum* et *Saccharomyces* (Choisy, Desmazeaud, Guéguen, et al., 1997). Pour les fromages à pâte molle et à croûte lavée, l'espèce majoritaire est *Debaryomyces hansenii* (Banjara et al., 2015; Bockelmann et al., 1997, 2005; Breuer and Harms, 2006; Gori et al., 2012).

Les levures colonisent dès les premières heures de l'égouttage jusqu'au cours de l'affinage (Addis et al., 2001; Corsetti et al., 2001; Leclercq-Perlat et al., 2004, 1999). Les levures participent à la maturation du fromage. Les levures jouent un rôle majeur lors de la désacidification du caillé *via* le catabolisme du lactate et/ou la production d'ammoniac (Bockelmann et al., 2005; Gori et al., 2007; Mansour et al., 2008; McSweeney et al., 2004) et contribuent à la remontée du pH lors des quatre à cinq premiers jours d'affinage (Riahi, 2006). Cette alcalinisation progressive de la surface des fromages par les levures permettra ensuite le développement des bactéries d'affinage acido-sensibles (Arfi et al., 2005; Corsetti et al., 2001). La désacidification de la pâte contribue aux modifications de la texture (Riahi, 2006) et à l'accroissement des activités enzymatiques (Lenoir et al., 1985). Les levures sont dotées d'activités enzymatiques variées qui leur permettent de contribuer à l'affinage et au développement de la saveur. Les levures interviennent dans la protéolyse des protéines du lait (Boutrou and Gueguen, 2005; Suzzi et al., 2001) et seraient également impliquées dans la lipolyse (Guerzoni et al., 2001; Suzzi et al., 2001).

Geotrichum candidum, *Kluyveromyces spp.*, *Candida spp.*, sont considérées comme des microflores d'intérêt technologique en transformation fromagère (Tormo, 2010). *Geotrichum candidum* est largement employé comme levain d'affinage en particulier pour les fromages à pâte molle et à croûte fleurie (Pottier et al., 2008). Cette espèce est particulièrement intéressante aussi pour la fabrication de fromages à partir de lait pasteurisé. En effet, son

développement conduit à la génération de propriétés sensorielles analogues à celles de fromages au lait cru (Boutrou and Gueguen, 2005).

1.6.2 Biochimie de l'affinage

L'affinage est dominé par plusieurs phénomènes biochimiques dont les plus importants sont la fermentation du lactose en lactate (glycolyse), la lipolyse et la protéolyse (Fox et al., 1996; McSweeney, 2004; Wilkinson and Kilcawley, 2005). Ces différents procédés sont schématisés Figure 10.

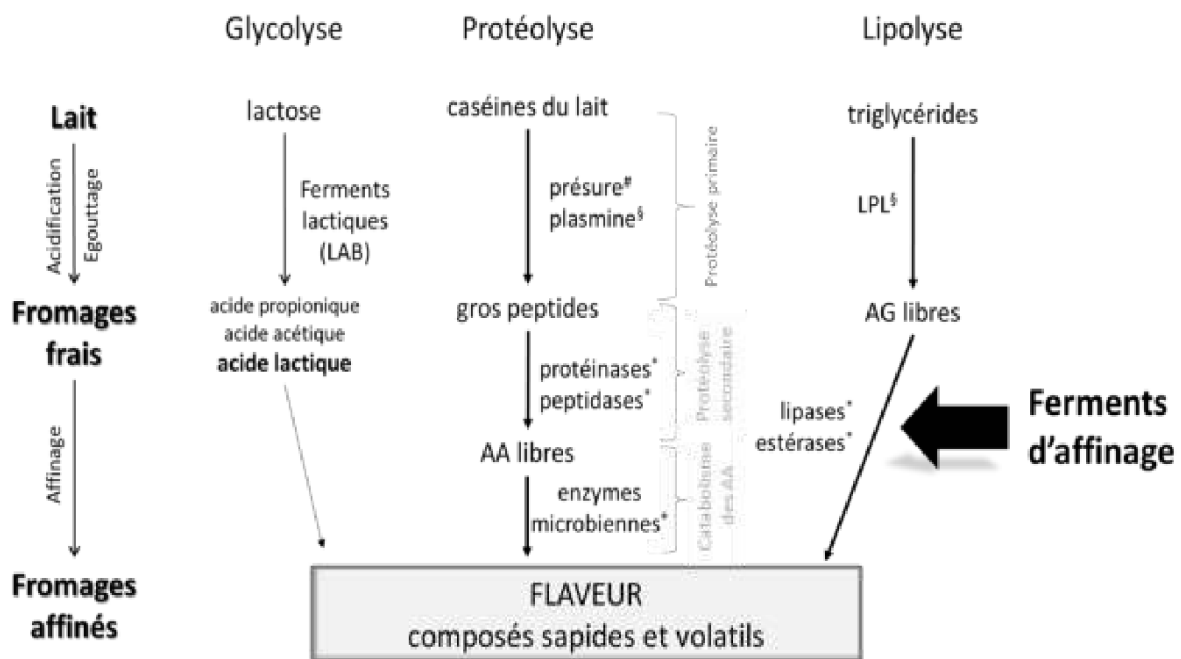


Figure 10. Les principales voies biochimiques conduisant à la production de composés aromatiques au cours de l'affinage des fromages ; adapté de Marilley et al. (2004) et McSweeney et al. (2000) . AA : acides aminés ; LPL : lipoprotéine lipase ; AG : acides gras ; #enzymes ajoutées dans le lait ; §enzymes présentes naturellement dans le lait ; *enzymes microbiennes.

1.6.2.1 La glycolyse

La glycolyse n'est pas considérée comme la voie métabolique la plus importante dans la formation de la flaveur des fromages (Wilkinson and Kilcawley, 2005). Au cours du processus de fabrication des fromages, le lactose est converti en acide lactique *via* les activités enzymatiques des ferments lactiques ce qui accélère la coagulation des caséines et l'expulsion du lactosérum du caillé (Fox and Wallace, 1997).

Au début de l'affinage, la production d'acide lactique permet à la flore fongique de coloniser la surface des fromages, entraînant la désacidification de la surface des fromages, puis l'établissement de la flore de surface dont les activités enzymatiques sont impliquées dans le développement de la flaveur des fromages. L'acide lactique contribue à l'inhibition de la croissance de certains micro-organismes indésirables comme *Clostridium butyricum*, *Pseudomonas spp*, *Listeria spp*, *Salmonella spp*, *Staphylococcus aureus* et *Bacillus cereus* (Caro et al., 2013; El-Gazzar and Marth, 1992; Holzapfel et al., 1995; Ortolani et al., 2010; Yoon et al., 2016). Cette désacidification se fait par transformation biochimique de l'acide lactique. Ce dernier est transformé par voies enzymatiques en divers composés comme l'acide propionique, l'acide acétique, l'acide butyrique et même du CO₂. Ces produits peuvent être transformés en composants de flaveur comme les aldéhydes et les cétones (McSweeney, 2004). Certaines levures comme *Kluyveromyces lactis*, *Kluyveromyces marxianus* et *Debaryomyces hansenii* et les bactéries lactiques peuvent être à l'origine de la formation d'autres composés volatils comme l'éthanol ou l'acétaldéhyde (Fleet, 1990).

1.6.2.2 La protéolyse

La protéolyse apparaît comme le phénomène le plus complexe et l'un des phénomènes majeurs qui survient au cours de l'affinage des fromages (McSweeney, 2004). La protéolyse est responsable du développement de la flaveur *via* la libération de petits peptides et d'acides aminés, qui sont les principaux précurseurs d'arômes comme les alcools, aldéhydes, acides, esters et les composés soufrés (Smit et al., 2005), ainsi que de la formation de la texture des fromages *via* l'hydrolyse des caséines du lait (Fox and Wallace, 1997; Urbach, 1995; Widayastuti et al., 2014). Le degré de protéolyse varie en fonction des technologies fromagères et de la durée d'affinage.

Les ferments lactiques (Lactobacilles, Lactocoques et les Streptocoques) se caractérisent par un faible effet protéolytique en comparaison aux ferments d'affinage (*Penicillium roqueforti*, *Penicillium camembertii*, *Brevibacterium linens*, *Propionibacterium spp*). Les bactéries lactiques possèdent des protéases et peptidases qui définissent un système protéinase/peptidase très complet. Celui-ci leur confère la capacité de dégrader les caséines du lait en composés aromatiques (McSweeney and Sousa, 1999; Wouters et al., 2002).

Les protéases pariétales des bactéries assurent l'hydrolyse partielle de la caséine en polypeptides capables de traverser la paroi bactérienne. Ces polypeptides sont ensuite dégradés dans le cytoplasme bactérien par des peptidases cytoplasmiques (Desmazeaud, 1997). Ces enzymes protéolytiques contribuent à la texture des pâtes, au goût, à la formation de la croûte par dégradation biochimique des protéines (Courroye, 1987). Parmi les levures et les moisissures, *Geotrichum candidum* et *Penicillium camembertii* sont les agents les plus protéolytiques rencontrés à la surface des fromages (Wouters et al., 2002).

1.6.2.3 La lipolyse

La matière grasse (constituée à 98% de triglycérides) joue un rôle important et essentiel pour la texture et le développement de la saveur des fromages. Les triglycérides peuvent subir une dégradation enzymatique (lipolyse) ou chimique (oxydation) (Fox and Wallace, 1997; McSweeney and Sousa, 2000).

L'hydrolyse enzymatique des triglycérides est réalisée par des estérases qui clivent les liaisons esters des triglycérides formées entre le glycérol et des acides gras à chaîne courte (C2 à C8) et par des lipases qui clivent ces mêmes liaisons à partir de triglycérides contenant des acides gras à plus longue chaîne (>C8) (Collins et al., 2003). La plupart des acides gras libres ayant un nombre de carbone entre quatre et 20 proviennent de la lipolyse des triglycérides, tandis que les acides gras ayant un nombre de carbone entre deux et six (acide acétique, acide propionique, ...) proviennent généralement de la dégradation du lactose et des acides aminés (Molimard and Spinnler, 1996). Les acides gras libérés peuvent contribuer directement à la saveur des fromages mais servent surtout de précurseurs pour la formation de composés volatils : les méthylcétones, les esters, les alcools secondaires et les lactones (Bastian et al., 2010; Collins et al., 2003). Les acides gras libres peuvent être oxydés en β -cétoacides puis une décarboxylation en méthylcétones (Collins et al., 2003; Kilcawley, 2017). Ces transformations biochimiques principalement dues aux moisissures (Bertuzzi et al., 2018; Collins et al., 2003; Curioni and Bosset, 2002) sont surtout retrouvées dans les fromages à pâte molle, les fromages à croûte fleurie et les fromages persillés. Parallèlement, les acides gras insaturés peuvent subir une auto-oxydation non enzymatique, réaction qui n'est pas très fréquente dans le fromage car c'est un environnement très réducteur avec la présence d'antioxydants naturels (notamment la vitamine E) (Alewijn, 2006). Dès lors, des composés aldéhydiques tels

que le propanal, l'hexanal, l'heptanal, l'octanal, le nonanal et bien d'autres sont formés par réduction.

1.6.3 Les principaux facteurs influençant l'affinage

De nombreux facteurs jouent un rôle déterminant sur la dynamique de l'affinage. On retrouve des facteurs liés au substrat fromage et des facteurs liés à l'environnement. Parmi ces facteurs, il y a lieu de citer notamment les effets de la température, du pH, de l'activité de l'eau, de l'aération et enfin de la composition de l'atmosphère, (Choisy, Desmazeaud, Gripon, et al., 1997).

1.6.3.1 La température

La température est un facteur régulateur important de la vitesse d'affinage en agissant sur la croissance microbienne et l'activité enzymatique. Chaque type de réaction particulière nécessite une gamme de température optimale. Pour exemple, les bactéries lactiques mésophiles requièrent des températures 30-35°C tout comme l'optimum d'activité pour les lipases tandis que les protéases ont un optimum d'activité vers 40-45°C (Mietton et al., 1994).

Lors de l'affinage, l'abaissement de la température réduit l'activité des enzymes mais celle-ci reste néanmoins marquée, notamment pour les lipases. L'abaissement de température favorise alors la lipolyse au détriment de la protéolyse et entraîne la formation de caractéristiques sensorielles précises du fromage, à condition de maîtriser la qualité microbiologique du caillé (De Buzon, 2007).

1.6.3.2 pH

Durant toutes les étapes de l'affinage, le pH joue un rôle prépondérant. En effet c'est un paramètre fondamental pour le développement microbien, mais aussi pour les réactions enzymatiques qui s'y déroulent et pour la texture des fromages (Lenoir et al., 1985). Les micro-organismes intervenant dans l'affinage provenant d'un ensemencement naturel ou volontaire présentent une sensibilité spécifique au facteur pH. Parmi les micro-organismes, seules les bactéries lactiques (Dellaglio et al., 1994) et les levures (Van den Tempel and Nielsen, 2000) peuvent se développer à des pH inférieurs à 5 (pH qui n'autorise pas la croissance de bactéries d'altération comme les coliformes). Certaines espèces comme *Brevibacterium* ou certains groupes, tels les *Pseudomonas*, sont inhibés dans les milieux à pH bas (Ratray and Fox, 1999).

L'activité des enzymes est également très sensible aux variations de pH. En effet, l'activité de la plupart des protéases microbiennes est maximale pour des pH compris entre 5 et 7,5 et celle des lipases pour des pH allant de 7,5 à 9,0. Au-dessous de pH 4,5, l'activité et la stabilité de nombreuses enzymes sont fortement réduites (Gobbetti et al., 1999; Mietton, 1995; Weimer et al., 1997).

1.6.3.3 L'activité de l'eau (a_w)

Pendant l'affinage, l'activité de l'eau (a_w) est un paramètre aussi important que la température et le pH pour le développement des micro-organismes et la vitesse de certaines réactions enzymatiques (Marcos, 1993). Les propriétés texturales peuvent également y être rapportées (Geurts et al., 1974).

En début d'affinage, l' a_w du fromage résulte en partie de la coagulation et de l'égouttage, qui conduisent à l'évacuation plus ou moins importante du lactosérum mais également de l'état de répartition du sel apporté lors du salage. L'abaissement de l' a_w augmente la durée de la phase de latence des micro-organismes et diminue sélectivement leur vitesse de croissance à un taux inférieur à 0,5 (Fox, 1993). Aucun développement n'est observé en dessous d'une a_w de 0,85, sauf pour quelques espèces halophiles. Les levures, quant à elles, ne se développent plus si l' a_w est inférieure à 0,80 (Hardy, 1997). L' a_w influence également les réactions enzymatiques. De manière évidente, cette sensibilité à l' a_w dépend du caractère hydrophile/hydrophobe des réactions biochimiques elles-mêmes. Brièvement, une réduction de l' a_w entraîne une baisse de l'activité des enzymes hydrosolubles. Typiquement, des enzymes comme les amylases, les protéases et les peroxydases sont complètement inactivées dès lors que l' a_w est inférieure à 0,85. Par contre, les lipases restent actives à des a_w aussi basses que 0,3 ou 0,1 (Jacobsen and Poulsen, 1995).

Parallèlement, Schlessner et al (1992) ont constaté que cet abaissement de l' a_w contribue à l'augmentation de la fermeté du fromage. Corroboré avec les travaux de Jaster et al (2014) sur le fromage parmesan, les échantillons avec une texture dure sont caractérisés par une faible valeur a_w (Jaster et al., 2014).

1.6.3.4 L'humidité relative d'équilibre (HRE)

L'humidité relative d'équilibre (HRE), ou teneur en vapeur d'eau ou encore hygrométrie de l'atmosphère des hâloirs participe également à l'évolution de l'affinage des fromages. Elle est en relation directe avec l' a_w et elle influence la perte de poids des fromages (Fox, 1993). Dans les hâloirs, l'hygrométrie est inférieure à 100 %, de sorte qu'il se produit toujours une évaporation de l'eau de la surface du fromage vers l'atmosphère (Riahi, 2006). Selon (Ramet, 1997a), l'HRE influence le développement microbologique de surface et la formation de la croûte. Un local humide favorise le développement de moisissures, levures et bactéries de surface tandis qu'un local sec favorise le croûtage des fromages. L'évaporation varie en fonction de la quantité d'eau libre dans le fromage, de sa surface spécifique (surface / volume), de l'état de sa croûte, du temps de séjour en cave et de la vitesse de renouvellement de l'air dans la cave (Sicard, 2010). Pour limiter la freinte (perte de poids) et ses conséquences sur le rendement des fromages, la maîtrise de l'HRE et des vitesses d'air dans les hâloirs est importante. Compte tenu du rôle sélectif de l'activité de l'eau sur la croissance et l'activité des micro-organismes, la régulation de l'hygrométrie des hâloirs est un moyen pour favoriser le développement, en surface des fromages, de certains micro-organismes et pour éviter la prolifération d'autres indésirables.

1.6.3.5 La croute lavée

Le salage intervient aussi dans la formation de la croûte. La croûte d'un fromage constitue en quelque sorte « un squelette externe » vis-à-vis d'une pâte caractérisée par sa plasticité élevée qui participe à la tenue, à la résistance et à la protection du fromage contre les agressions extérieures (Froc, 2006). Elle assure également son innocuité. Le croûtage résulte à la fois d'une déshydratation plus prononcée en surface, consécutive à une osmose entre la pâte du fromage et le milieu extérieur riche en sels et d'un effet tannant du chlorure de sodium sur les protéines. Le rôle de la croûte formée lors du salage est particulièrement important pendant les premiers jours de l'affinage sachant que la déshydratation superficielle, résultant de l'évaporation de l'eau observée pendant le séjour en hâloir, n'est pas encore assez marquée pour engendrer une croûte suffisamment cohérente capable de fixer la forme du fromage (Ramet, 1985).

De par leurs propriétés technologiques intrinsèques, les levures sont les premières à s'implanter et à se développer à la surface du fromage, formant ainsi une croûte fromagère d'environ 200 µm d'épaisseur (Spinnler and Gripon, 2004). Au sein des hâloirs, la vitesse de circulation de l'air est un facteur important pour la formation de la croûte. Une croûte épaisse résulte d'une vitesse de circulation d'air élevée dans le hâloir limitant le développement des bactéries aérobies. Par contre, une vitesse de circulation d'air trop faible induit l'implantation de micro-organismes pathogènes ou d'altération comme les *Listeria* et certaines moisissures (Riahi, 2006).

2 Authentification des Maroilles fermiers et industriels

Les consommateurs sont devenus de plus en plus exigeants et soucieux de la qualité et de la sécurité sanitaire des aliments qu'ils ingèrent. Les caractéristiques nutritionnelles, microbiologiques et sensorielles revêtent une grande importance dans le choix des denrées à consommer. Le contrôle de la qualité et de la salubrité est déterminant pour établir l'authenticité des aliments. Cette notion doit s'appliquer autant sur les produits finis que sur les matières premières, elle doit être constante et normalisée. Le principe de base de l'authentification est de vérifier qu'un aliment est conforme à la description de l'étiquette. L'authentification implique la mise en place d'un processus qui vérifie la conformité à un aliment **«de référence»**. Cette approche classique consiste donc à déterminer la quantité d'un ou plusieurs composés marqueurs dans un aliment suspect et à comparer cette quantité avec l'aliment «de référence». Cela peut inclure, entre autres, l'origine (espèce, géographie), la méthode de production (conventionnelle, biologique, traditionnelle) ou les technologies de traitement (thermique, irradiation, congélation, chauffage par micro-ondes).

Le fromage est l'un des produits alimentaires fermentés les plus anciens. Le processus de fabrication du fromage est fortement lié à des spécifications strictes établies par un savoir-faire traditionnel et ancestral. Pour protéger ce patrimoine culturel et gastronomique, les états ont mis en place des moyens légaux de protection tels que les appellations. L'appellation d'origine protégée (AOP) a ainsi été mise en place pour garantir l'origine et l'unicité d'un produit en général. L'une des principales caractéristiques des fromages AOP produits à partir de lait cru ou traité thermiquement, est qu'ils abritent une flore microbienne complexe et typique. Par sa croissance et les activités métaboliques qu'elle développe durant le processus

de fabrication et la période d'affinage du fromage, la flore microbienne transforme le lait en produits fins reconnus et appréciés par les consommateurs du monde entier (Montel et al., 2014). Ces micro-organismes apparaissent comme des acteurs majeurs de l'expression et de la perception des propriétés organoleptiques du fromage et de la sécurité car ils agissent comme un bouclier contre les populations microbiennes pathogènes (Kongo, 2013).

L'authentification pose plusieurs problèmes dont les plus importants sont :

- **Les limites de la quantification des composés de référence.** Celles-ci dépendent de la variabilité intrinsèque des fromages produits à différents instants, en particulier pour les fromages artisanaux. Dès lors, un grand nombre d'échantillons source sont généralement nécessaires pour constituer un ensemble de données de référence fiable ;
- **La mise en œuvre des techniques d'analyses,** afin de vérifier les caractéristiques d'authenticité et le respect des normes d'un produit par rapport aux références définies. L'analyse de l'authenticité impose l'utilisation de techniques d'analyses. En plus des techniques analytiques conventionnelles, de nouvelles techniques d'analyses physicochimiques ont vu le jour. Cependant, la complexité de leur exécution et de leur interprétation les rend souvent possible uniquement pour les laboratoires de pointe qu'ils soient publics ou privés ;
- **L'établissement d'une déclaration définitive** sur l'authenticité de tous les produits n'est pas toujours possible, même en mesurant un grand nombre de composés.

2.1 Caractéristiques sensorielles et physicochimiques

2.1.1 Caractéristiques sensorielles

Le Maroilles est un fromage fait exclusivement avec du lait de vache qui appartient à la catégorie des fromages à pâte molle et à croûte lavée. La croûte est lisse de couleur rouge-orangée homogène. Sa pâte, légèrement salée, présente à l'état jeune un cœur lactique, puis devient souple, onctueuse et grasse. Son odeur est franche, son bouquet corsé et sa saveur typée avec des saveurs de lait caillé (à l'issue de la période minimale d'affinage), de noisette et des notes alliacées. Lors d'un affinage prolongé, le goût devient plus puissant et typé. On dit du Maroilles qu'il est « le plus fin des fromages forts ».

Le maroilles est de forme carrée. Sa forme caractéristique résulte des moules traditionnellement carrés fabriqués avec le bois dur des arbres de la région (hêtre, frêne...) qui ne se plie pas facilement. Le Maroilles se décline en quatre formats dénommés « GROS », « SORBAIS », « MIGNON » et « QUART » selon leur format et leur durée d'affinage (Tableau 1).

Tableau 1. Caractéristiques des différents formats de Maroilles, adapté du cahier des charges 2015

	Dimensions intérieures des moules*	Poids total minimum affiné	Poids total minimum de matière sèche (MS)	Durée minimum d'affinage (à compter de la date d'emprésurage)
Maroilles Gros	12,5 à 13 cm	720	360	35 jours
Maroilles Sorbais	12 à 12,5 cm	540	270	28 jours
Maroilles Mignon	11 à 11,5 cm	360	180	28 jours
Maroilles Quart	8 à 8,5 cm	180	90	21 jours

*(+/- 0,3 cm)

2.1.2 Composition nutritionnelle

Le fromage est un aliment universel, il possède une excellente valeur nutritive en raison de sa richesse en nutriments et micronutriments : protéines, peptides bioactifs, acides aminés, lipides, acides gras, métabolites, vitamines, minéraux et eau (Walther et al., 2008). C'est un aliment à la fois très nutritif pour l'adulte et un aliment de croissance pour le jeune, du fait de la présence des protéines de valeur biologique élevée et des complexes phosphore-calcium-vitamine D qui agissent sur de nombreuses fonctions physiologiques (croissance des os, contraction musculaire...). Le fromage est un aliment lipidique et protéique par excellence. La teneur en matière grasse du fromage, tout comme celle des vitamines liposolubles, varie fortement et est comprise entre 40 et 50%. La teneur en protéines varie quant-à-elle de 10 à 30% (Dillon and Berthier, 1997). La valeur biologique des protéines du fromage est un peu inférieure à celle des protéines du lait. La qualité des fromages dépend d'un grand nombre de facteurs, liés à la fois à la technologie de fabrication et aux caractéristiques chimiques et microbiologiques de la matière première mise en œuvre (Coulon et al., 2005). Le Tableau 2 présente une comparaison de la composition nutritionnelle des Maroilles fermiers et industriels. Le Maroilles fermier contient légèrement moins de protéines et un peu plus de

lipides (notamment des acides gras monoinsaturés et polyinsaturés), de chlorure de sodium et de sodium que le Maroilles industriel.

Tableau 2. Composition nutritionnelle du Maroilles fermier et industriel (Ciquel/CNIEL, 2017).

Constituants	Teneurs moyennes	
	Fermier	Industriel
Énergie (kcal/100g)	349	338
Eau (g/100g)	45,6	45,9
Protéines brutes, N x 6,38 (g/100g)	20,8	21,8
Glucides (g/100g)	traces	Traces
Lipides (g/100g)	29,5	27,8
Cendres (g/100g)	3,74	3,57
Acides Gras (AG) saturés (g/100g)	17,3	17,5
AG monoinsaturés (g/100g)	6,87	6,27
AG polyinsaturés (g/100g)	1,04	0,72
Chlorure de sodium (g/100g)	2,07	1,87
Sodium (g/100g)	0,821	0,766

2.2 Méthodes usuelles d'authentification

2.2.1 Analyses physicochimiques

Lors de la transformation fromagère, le contrôle de la qualité repose sur des analyses physicochimiques (azote totale et soluble, sels, humidité, pH, matière grasse, colorimétrie, texture) qui permettent d'évaluer, de mesurer, de quantifier les caractéristiques-clés du produit. Afin de garantir la comparabilité des résultats obtenus, ces méthodes sont la plupart du temps standardisées par des organismes spécialisés tels que l'organisation internationale de standardisation (ISO), l'agence française de normalisation (AFNOR), l'*association of official analytical chemists* (AOAC), la fédération internationale du lait (FIL). Ces méthodes sont, en général, simples mais requièrent parfois une plus grande complexité, pour au final, fournir des résultats précis et fiables sur l'authenticité et la composition du fromage.

Ces analyses physicochimiques présentent l'inconvénient de fournir un aperçu global des composés contenus dans le fromage sans réel détail moléculaire. L'authentification de fromage reste alors difficile, même si quelques exemples de travaux sont à citer. Pour exemples, les analyses physicochimiques (l'azote, l'azote non protéique, l'humidité, le sel, pH) effectuées sur 80 fromages espagnols appartenant à 10 variétés différentes ont montré que ces fromages peuvent être classés sur la base de leurs paramètres chimiques en les combinant avec une analyse multivariée (Millán et al., 1996). Jaster (2014) met en évidence, sur la base de leurs paramètres physicochimiques (taux de matière grasse, humidité, colorimétrie et texture) une différence significative entre des fromages de type Parmesan (Jaster et al., 2014). Il en est de même pour les fromages Oaxaca industriels et artisanaux où une discrimination est observée sur la base de la composition chimique, de la texture et la colorimétrie (Sandoval-Copado et al., 2016). D'autre part, des fromages frais fabriqués au Mexique à partir de lait cru ont été comparés aux mêmes fromages frais fabriqués au Mexique et aux États-Unis mais à partir de lait pasteurisé afin de déterminer les différences de texture et de rhéologie (Tunick and Van Hekken, 2010). Selon Rynne et al. (2008) et Okpala et al. (2010) les hautes pressions semblent influencer les propriétés physicochimiques des fromages à pâte molle. Les teneurs en protéines dans les fromages traités sont inférieures à celles des fromages témoins tandis que la valeur du pH de ces fromages augmente avec la pression. Pour finir, la mesure de la couleur de la croûte réalisée à l'aide d'un spectro-colorimètre (système colorimétrique $L^* a^* b^*$) sur des fromages à pâte molle (Époisses, Munster, Maroilles, Livarot, Limburger or Tilsit) a révélé une hétérogénéité avec le Munster AOP, produit dans la même région mais selon des conditions et avec des producteurs différents (Galaup et al., 2007).

En outre, les méthodes physicochimiques peuvent utiliser un grand nombre de réactifs onéreux et polluants et ne sont applicables que par des laboratoires certifiés et des opérateurs qualifiés. De plus, un dosage peut demander plusieurs heures d'analyse pour une méthode conventionnelle normalisée comme la détermination de l'azote par la méthode de Kjeldahl ou la mesure de l'humidité par des séchages et des pesées successives, par exemple

2.2.2 La chromatographie liquide à haute performance (CLHP)

À côté des analyses simples, des analyses plus sophistiquées telle que la chromatographie liquide à haute pression (ou d'un point de vue plus commerciale haute

performance, CLHP) sont de plus en plus répandues pour obtenir de plus amples informations sur la composition moléculaire des fromages. Cette forme de chromatographie est fréquemment utilisée en biochimie ainsi qu'en chimie analytique et son champ d'application recouvre une grande partie du domaine de l'agroalimentaire (Schwertner and Rios, 2007). La CLHP permet de séparer, quantifier voire identifier (grâce à un standard) les composants dans un mélange. Elle permet la séparation rapide et fiable de composés chimiquement similaires dans des matrices alimentaires complexes (Cserhati et al., 2005) et la quantification des composés présents, pour ainsi vérifier la qualité du produit (Nollet and Toldrá, 2012). La séparation de composés par CLHP peut se faire selon trois caractéristiques moléculaires principales : 1) leur polarité, 2) leur charge électrique ou 3) leur encombrement hydrodynamique (incorrectement nommé la masse moléculaire). La CLHP est utilisée pour l'analyse des protéines, des peptides, des acides aminés, des glucides, des vitamines, des composés phénoliques, des triglycérides, des composés chiraux, des pigments, par exemple.

Les produits de la protéolyse de 40 fromages trappistes Hongrois tout au long de l'affinage ainsi que pendant le stockage pendant 28, 42, 56 et 70 jours ont été analysés par CLHP. L'analyse statistique multivariée des profils chromatographiques a permis de discriminer ces fromages (Bara-Herczegh et al., 2002). Le Mahon, fromage fabriqué au lait cru ou pasteurisé et à plusieurs temps d'affinage, peut également être caractérisé par CLHP des acides aminés. Ainsi, l'ACP des profils chromatographiques des acides aminés et autres composés permet la discrimination des fromages en fonction de leur durée d'affinage et des différents traitements du lait (Frau et al., 1997). En ce qui concerne les fromages à pâte molle et croûte lavée (Munster, Époisses, Reblochon et Livarot), la CLHP a contribué à la caractérisation des pigments de la croûte (Galaup et al., 2007). Les techniques traditionnelles de CLHP des produits d'hydrolyses des protéines peuvent être extrêmement efficaces pour l'authentification de fromages, mais de nombreux problèmes peuvent en limiter l'usage. La procédure de préparation et d'extraction des échantillons est généralement consommatrice de temps, complexe, coûteuse et nécessite un personnel qualifié. Le principal problème repose souvent sur l'hétérogénéité des mélanges d'acides aminés et de peptides qui rend les profils CLHP complexes et nécessite des méthodes statistiques avancées pour discriminer les échantillons.

2.2.3 La chromatographie en phase gazeuse (GC, de l'anglais *gas chromatography*)

La chromatographie en phase gazeuse est une technique analytique basée sur l'apolarité et la volatilité des composés à séparer et est donc plus adaptée à l'analyse de molécules naturellement volatiles ou semi-volatiles (Bertuzzi et al., 2018). Elle permet la séparation des composés naturellement volatiles ou rendus volatiles selon leur coefficient de partage vis-à-vis d'une phase stationnaire et d'une phase gazeuse mobile représentée par un gaz inerte (hélium, oxygène, azote ou dioxyde de carbone) (Mariaca and Bosset, 1997). L'affinité des molécules pour la phase stationnaire diminue avec l'augmentation de la température. Il est alors possible de séparer les molécules en utilisant un gradient progressif de température qui va permettre aux différents composés de migrer de la phase stationnaire à la phase mobile où ils seront emportés vers le système de détection. La chromatographie en phase gazeuse (GC) est l'une des techniques de séparation les plus couramment utilisées dans la recherche agroalimentaire pour analyser les substances volatiles, les arômes et les pesticides (Kamal and Karoui, 2015; Karoui and De Baerdemaeker, 2007).

Des études réalisées sur le lait ont montré que la composition botanique du fourrage influence la quantité et la nature des terpènes présents dans la fraction lipidique du lait (Viallon et al., 2000). Ces terpènes sont retrouvés dans le fromage. Ces molécules spécifiques du monde végétal possèdent, à l'état concentré, des propriétés odorantes reconnues et constituent des marqueurs volatils de l'alimentation des vaches au pâturage. L'analyse de ces composés par GC fournit des chromatogrammes caractéristiques du type d'alimentation mais aussi de l'origine géographique qui servent, à la manière des empreintes digitales, pour la discrimination des fromages (Bugaud et al., 2001; Cevoli et al., 2011; Pérès et al., 2001; Pillonel, Luginbühl, et al., 2003).

Bergamaschi *et al.* (2015) ont constaté que le profil des composés organiques volatils des fromages étudiés est influencé par le système de production laitière et par le stade de lactation (Bergamaschi et al., 2015). Ces résultats rejoignent les conclusions présentées dans l'article de Falchero *et al.* (2010) où les auteurs relatent que la variation de la composition en acides gras du fromage est fonction des espèces fourragères consommées (Falchero et al., 2010). En ce qui concerne la Mozzarella, Kim *et al.* ont appliqué une ACP à partir de profils chromatographiques d'acides gras et de données sur la teneur en phytostérols est démontrée

la différenciation significative de Mozzarella typique et imitée (Kim et al., 2014). Sandoval-Copado, quant à lui, caractérise les composés volatils par microextraction en phase solide couplée à la GC utilisant la spectrométrie de masse (MS, de l'anglais *mass spectrometry*) comme détecteur pour la discrimination de fromages Oaxaca industriels et artisanaux (Sandoval-Copado et al., 2016).

En général, l'analyse GC est considérée comme un outil très prometteur pour caractériser l'hétérogénéité des substances volatiles de différents fromages. Néanmoins l'inconvénient de la GC réside dans le coût d'achat de l'équipement et colonnes de chromatographie mais aussi dans la nécessité de faire réaliser les manipulations et l'interprétation des résultats obtenus par des opérateurs qualifiés.

2.2.4 Techniques immunologiques

Les immunodosages sont des outils analytiques qui s'appuient sur l'interaction spécifique entre les anticorps et leurs antigènes apparentés. Les immunodosages sont également très répandus comme méthodes d'authentification de par leur facilité et rapidité d'utilisation mais aussi par leur automatisation relativement aisée (Hurley et al., 2006). Développés pour faciliter l'étude de l'immunologie des espèces vivantes, les immunodosages ont trouvé des applications dans de nombreux domaines. Ils permettent de détecter et de quantifier, dans une matrice alimentaire complexe, une multitude de molécules de masse moléculaires variée allant des protéines aux petites molécules organiques (Nielsen, 2010).

Dans le domaine agro-alimentaire, de nombreux anticorps sont développés pour des antigènes spécifiques d'intérêt (allergènes, toxines, pathogènes, etc.) (Gajewski and Hsieh, 2009). Ces anticorps peuvent également être utilisés comme molécules de capture pour piéger leurs antigènes cibles. De nos jours, les tests immuno-enzymatiques de type enzyme-linked immunosorbent assay (ELISA) sont les plus utilisés (Asensio et al., 2008). Sur le marché, il existe de nombreux kits de tests immunologiques pour l'authentification des laits et des fromages. Ces kits nécessitent un minimum de formation et d'équipement et peuvent être utilisés n'importe où pour l'identification rapide et la quantification des espèces de lait utilisées dans les fromages (Asensio et al., 2008).

2.2.5 Analyses microbiologiques

Les méthodes culture-dépendantes sont très utilisées pour déterminer le nombre de bactéries totales, reflétant la qualité microbiologique des produits laitiers, ou pour détecter des pathogènes spécifiques, car elles demandent une faible technicité et sont peu coûteuses (Quigley et al., 2011). La microbiologie est très importante dans la fabrication et l'affinage des fromages néanmoins les ajouts des ferments et les contaminations, même après traitements du lait, ne rendent la différence en diversité et énumération de la flore entre les fromages fermiers et industriels pas toujours décelable. Néanmoins les analyses microbiologiques ont été utilisées dans des travaux de discrimination entre les fromages provenant de différents procès et subissant différents traitements, comme par exemple dans les travaux de Rea *et al.* (2016) sur les différences microbiologiques des fromages Burrata italiens fabriqués dans les usines artisanales et industrielles de la région des Pouilles (Rea et al., 2016). Des différences mises en évidence entre les fromages artisanaux et industriels Pecorino Calabrese, pour les levures et les moisissures, les coliformes totaux et les entérocoques (Campolo et al., 2013). Delcenserie *et al.* (2014) ont utilisé la culture pasteurienne pour l'énumération de la flore totale et les bactéries lactiques du fromage belge à pâte molle avec croûte lavée « Hervé », les fromages au lait pasteurisés contenaient la plus grande quantité de bactéries sur la croûte et les plus faibles dans le cœur. Aucune différence entre le cœur et la croûte n'a cependant été observée pour les fromages au lait cru (Delcenserie et al., 2014). L'approche classique pour caractériser les communautés microbiennes des laits et fromages repose sur l'isolement et la culture des micro-organismes avant leur identification selon des critères morphologiques, biochimiques ou génétiques (Ercolini et al., 2001; Jany and Barbier, 2008). Les limites de cette approche, pour étudier la complexité de l'écosystème fromager, est le risque de sous-estimation de la diversité de la flore microbienne due à l'inadéquation des conditions de culture et/ou des micro-organismes dominants. Ce sont des méthodes qui nécessitent des milieux de culture pour chaque genre ou espèce avec des étapes de préparation, pré-enrichissement, enrichissement et mise en culture, ainsi que beaucoup de temps de travail.

2.2.6 Analyses sensorielles

L'analyse sensorielle est un outil primordial dans l'industrie agroalimentaire afin d'obtenir des descriptions des produits. La méthode conventionnelle, fréquemment utilisée, est celle du profil sensoriel (encore appelée, QDA de l'anglais Quantitative descriptive

analysis). Cette analyse est effectuée par des panélistes entraînés. Ces panélistes doivent avoir un niveau raisonnable de perception sensorielle et doivent être formés aux méthodes sensorielles pour l'obtention de résultats fiables et répétables. Pour cela, la procédure consiste tout d'abord au développement d'un langage commun, puis à la définition de chacun des descripteurs utilisés et enfin à la standardisation de la procédure d'évaluation en utilisant des échelles de mesure). Le panel doit s'entraîner régulièrement plusieurs fois par semaine ou par mois (en fonction des objectifs de l'étude), afin d'obtenir des résultats fiables et robustes. La performance d'un panel s'évalue au niveau individuel et du groupe en terme de performance discriminative (différentiation des produits), de répétabilité (même évaluation pour des produits similaires) et de consensus (accord entre les juges) (Stone et al., 2008). Les propriétés d'aspect, d'odeur, de goût et de texture sont des caractéristiques importantes déterminant la qualité et l'authenticité des fromages. Par exemple, Lebecque et al. (2001) ont étudié les caractéristiques sensorielles de 25 fromages Salers AOP. Ils ont mis en évidence 8 descripteurs de texture permettant de différencier significativement les 25 fromages et de les classer en cinq groupes. Dans une autre étude sur des fromages Oaxaca industriels et artisanaux, 13 descripteurs ont contribué significativement à la discrimination des fromages (Sandoval-Copado et al., 2016). Ces méthodes de profil conventionnel sont des techniques utiles et très fiables, cependant elles ont certaines limites : de par la nécessité d'entraîner les panélistes, elles ont un coût très élevé et sont très consommatrices de temps.

Actuellement une attention particulière est également portée au développement de techniques instrumentales couplées à l'évaluation sensorielle l'aide de capteurs de perception capables de reconnaître objectivement et rapidement des perceptions sensorielles spécifiques. Parmi ces techniques, on peut citer la chromatographie en phase gazeuse couplée à un olfactomètre (GCO, de l'anglais gaz chromatography olfactometry), les capteurs biomimétiques, comme la langue électronique (e-langue), le nez électronique et l'œil électronique.

2.3 Méthodes d'authentification alternatives

Les méthodes décrites ci-dessous existent en tant que telles depuis de nombreuses années. Citons par exemple la spectroscopie infrarouge, la spectroscopie par résonance magnétique nucléaire, la spectrométrie de masse ou les techniques de biologie moléculaire.

La part d'innovation réside donc dans l'application qui est faite de ces méthodes dans le domaine agroalimentaire et ce qu'elles peuvent ajouter à l'authentification des produits alimentaires.

2.3.1 La spectroscopie infrarouge

La spectroscopie infrarouge est l'une des techniques spectroscopiques les plus utilisées à l'heure actuelle. Elle est non destructive, rapide et peut très bien être utilisée pour l'authentification des aliments. L'analyse utilise le spectre infrarouge de l'ensemble des molécules du produit et mesure la longueur d'onde et l'intensité de la lumière infrarouge absorbée par un échantillon (Luykx and Van Ruth, 2008).

On distingue l'infrarouge proche et l'infrarouge lointain nommés ainsi en raison de leur relation avec le spectre visible. Le proche infrarouge (NIR, de l'anglais *near infrared*) de haute énergie (14 000-4 000 cm^{-1}), le moyen infrarouge (MIR, de l'anglais moyen *infrared*) de moyenne énergie (4 000-400 cm^{-1}) et l'infrarouge lointain (FIR, de l'anglais *far infrared*) de faible énergie (400-10 cm^{-1}). L'analyse d'un échantillon alimentaire utilisant le spectre infrarouge moyen (MIR) révèle des informations sur les liaisons moléculaires présentes et donne des détails sur les types de molécules présentes dans les aliments. La spectroscopie proche infrarouge (NIR) fournit quant-à-elle des informations structurelles beaucoup plus complexes liées au comportement vibrationnel des combinaisons de liaisons. Chaque groupe fonctionnel d'une molécule possède une fréquence vibratoire unique (Tedeschi et al., 2013). En prenant en compte des effets de l'ensemble des différents groupes fonctionnels, il en résulte un spectre représentant une "empreinte digitale" moléculaire unique qui peut être utilisée pour confirmer la détection d'adultération d'un échantillon (Luykx and Van Ruth, 2008).

La bibliographie relate de nombreux travaux utilisant des techniques spectroscopiques NIR et MIR pour la détermination de l'authenticité notamment de l'origine géographique et la détection d'adultération. La spectroscopie NIR est utilisée pour la détermination des principaux composants du fromage tels que l'eau, la matière grasse et les protéines (Adamopoulos et al., 2001; Cattaneo et al., 2005; da Costa Filho and Volery, 2005; Čurda and Kukačková, 2004; Hermida et al., 2001; Laporte et al., 1998; Mazerolles et al., 2000). Cette spectroscopie permet aussi de suivre et surveiller la coagulation du lait emprésuré (Cipolat-

Gotet et al., 2012; Klandar et al., 2007; Lyndgaard et al., 2012) et plus généralement de suivre l'élaboration des fromages (Blazquez et al., 2004). Elle permet également un suivi de la texture des fromages (Revilla et al., 2009) à différents temps de maturation et de caractériser les composés volatils des fromages (González-Martín et al., 2014). La spectroscopie NIR pourrait servir d'outil fiable pour l'authentification car comme rapporté par Cozzi *et al.* une analyse discriminante des spectres NIR conduit à une discrimination nette entre les produits (Cozzi et al., 2009).

La spectroscopie MIR a quant à elle été développée pour étudier la structure des composés organiques telle que la structure secondaire des protéines du lait et des produits laitiers (Carbonaro and Nucara, 2010). L'avantage principal de cette technique réside dans la faible ou totale absence de préparation d'échantillon (Karoui et al., 2010). La spectroscopie MIR a été utilisée pour surveiller le processus technologique mis en jeu au cours de la fabrication, de la détermination de l'origine géographique et de la détection de l'altération des produits laitiers (Fagan et al., 2007; Karoui et al., 2005, 2007, 2010; Pillonel, Ampuero, et al., 2003). Cette technique discrimine selon leur procédé de fabrication et leur zone d'échantillonnage des fromages à pâte molle (Karoui et al., 2006b) mais aussi les fromages Emmental selon leur origine géographique (Karoui et al., 2010).

Les spectroscopies NIR et MIR présentent certains avantages tels que la rapidité, la simplicité des mesures, la répétabilité élevée des mesures, la non nécessité de personnel hautement qualifié, le faible coût de l'équipement, l'échantillonnage aisé et la non-destruction de ce dernier. De plus, la spectroscopie NIR permet de mesurer plusieurs composants ensemble. Parallèlement, la spectroscopie NIR présente aussi certains inconvénients tels qu'une faible sensibilité ; les composants de faible concentration ne peuvent pas être mesurés avec une grande précision.

2.3.2 Spectroscopie par résonance magnétique nucléaire

La spectroscopie par résonance magnétique nucléaire (RMN) est une technique analytique qui étudie les propriétés physiques et chimiques des atomes au sein des molécules. Cette technique analytique est basée sur les mesures du rayonnement radiofréquence absorbé par les noyaux atomiques dans un fort champ magnétique. Ce rayonnement dépend de l'environnement atomique qui entoure chaque atome. Ainsi, la RMN fournit des

informations spectroscopiques et structurales sur une large gamme de composés moléculaires. La spectroscopie RMN peut fournir des informations détaillées sur la structure moléculaire d'un aliment car elle permet de déterminer, avec une grande précision analytique, la composition des matrices complexes des produits alimentaires. De plus, la quantité de tout métabolite d'intérêt peut être évaluée dans un mélange après une préparation d'échantillon minimale. Les techniques de RMN ont été utilisées pour déterminer non seulement la provenance des fromages (Brescia et al., 2005; Consonni and Cagliani, 2008), mais aussi pour étudier les transformations biochimiques de métabolites au cours de la maturation du fromage (de Angelis Curtis et al., 2000; Piras et al., 2013; Shintu and Caldarelli, 2005). La teneur en métabolites hydrosolubles de fromages italiens Parmigiano Reggiano prélevés à plusieurs stades d'affinage (14, 24 et 30 mois) ont été comparé à des fromages Grana originaires des pays d'Europe de l'Est (Consonni and Cagliani, 2008). Une discrimination claire des fromages en fonction de leur origine géographique et de leur durée d'affinage a été observée. La spectroscopie RMN présente un certain nombre d'avantages comme une préparation et une analyse rapides, faciles et non destructives des échantillons et une applicabilité à tous types d'aliments. Son principal inconvénient et, non dès moindre, est qu'elle reste l'une des techniques analytiques les plus onéreuses, à la fois en termes d'investissement initial et de coûts de fonctionnement.

2.3.3 Spectrométrie de masse

La spectrométrie de masse est, de longue date, une technique analytique utilisée dans le domaine des aliments. Sur les cinq dernières années, son utilisation reste constante comme le montre le nombre moyen de 200 à 250 publications par an, relatives aux mots clefs "Mass Spectrometry"[Mesh] AND "Food Analysis"[Mesh] en utilisant le système de classification medical subheading (MeSH) du site Pubmed ("<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed>")

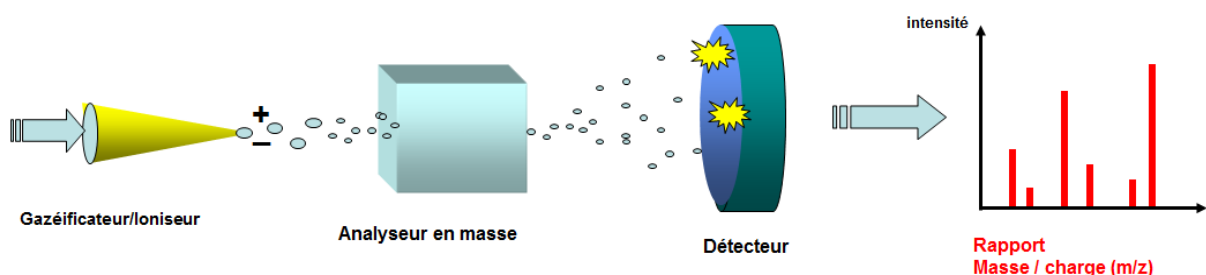


Figure 11. Les principales étapes de l'analyse par spectrométrie de masse.

La spectrométrie de masse est une technique analytique qui permet de détecter, d'identifier et de quantifier des composés inconnus par mesure de leur « masse moléculaire » et d'étudier leurs propriétés structurales et moléculaires en les fragmentant (De Saint Simon, 2000; De Hoffmann et al., 2005; Rusconi, 2011). C'est une méthode destructive qui mesure le rapport masse sur charge (m/z) de particules subatomiques, d'atomes, de métabolites, de molécules, de protéines, d'agrégat de protéines... La spectrométrie de masse trouve des applications dans de nombreux domaines : la chimie (caractérisation des molécules et de leur structure), la médecine (recherche des toxines, germes microbiens, dépistage de maladies), l'astrophysique (analyses des matériaux extraterrestres), la pharmacologie (interaction médicamenteuse, pharmacocinétique), la géologie (composition des roches), l'environnement et bien d'autres domaines. Un spectromètre de masse se compose de quatre parties (Figure 11) :

1. La source d'ions : après introduction de l'échantillon sous différentes formes (liquide, solide ou gaz), la source d'ionisation est utilisée pour vaporiser les échantillons et ioniser les molécules de l'analyte. Plusieurs types de sources d'ionisation existent (ionisation électronique, ionisation chimique, photoionisation à pression atmosphérique, ionisation-désorption laser assistée par matrice, ...). Elles se distinguent par leur principe de fonctionnement.
2. L'analyseur : son rôle est de séparer les ions formés sur la base de leur rapport de m/z . De même, il existe plusieurs types d'analyseurs (quadripolaire, orbitrap, à transformée de Fourier, à temps de vol, à secteur magnéto-électrique...) qui se distinguent par leur principe de fonctionnement.
3. Le détecteur : Ce dernier a pour but de compter et d'amplifier (quantifier) les ions impactant le détecteur et de les transformer en signal électrique.
4. Le système électronique et informatique permet quant-à-lui de traiter, stocker et retranscrire en spectre de masse les signaux électriques issus du détecteur. Un spectre de masse correspond toujours aux rapports m/z des ions détectés sur l'axe des abscisses et leur abondance relative sur l'axe des ordonnées.

2.3.4 Approche isotopique comparative

Deux atomes du même élément qui ont le même nombre de protons mais un nombre de neutrons différent sont appelés isotopes. Ils se distinguent par une masse atomique

différente. Les principaux atomes constitutifs des composés biologiques (C, H, O, N, P, S...), comme de nombreux autres atomes (très peu d'atomes ne possèdent pas d'isotopes), existent sous plusieurs formes isotopiques. On distingue les formes isotopiques instables (qui devient stable par perte d'énergie) et stables. Les isotopes stables sont classés en deux groupes en fonction de leur masse atomique : les isotopes légers (bioéléments) et les isotopes lourds. Une molécule donnée existe donc sous forme de plusieurs isotopes qui se distinguent par les masses moléculaires. Cette réalité moléculaire est appelée la distribution isotopique d'une molécule. La mesure des rapports isotopiques (= rapport quantitatif entre isotopes d'une même molécule) est un outil analytique intéressant et applicable à l'authentification des produits alimentaires. Pour exemple, la qualité et/ou l'identité des produits laitiers peuvent être suivie par mesure des rapports isotopiques car les rapports des isotopes stables changent en fonction des conditions climatiques, de l'origine géographique, de la pédologie du sol et de la géologie des lieux d'origines des ingrédients alimentaires.

Dans le groupe des isotopes légers, les rapports isotopiques les plus étudiés sont les rapports $^2\text{H}/^1\text{H}$, $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$, $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ et $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ tandis que le rapport $^{34}\text{S}/^{32}\text{S}$ est moins couramment utilisé. Dans le groupe des isotopes lourds, les ratios isotopiques le plus couramment utilisés dans l'authentification des aliments est le ratio de deux isotopes du strontium ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) et plus rarement plusieurs ratios d'isotopes du plomb et du cadmium $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$, $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$, $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ (Danezis et al., 2016). La mesure des rapports isotopiques des atomes de soufre et d'hydrogène dans la caséine et du carbone et l'oxygène du glycérol de fromages français, italiens et espagnols permet une bonne discrimination de ces fromages européens (Camin et al., 2004) mais aussi de l'Emmental de Finlande, de Bretagne et de Savoie (Pillonel et al., 2003). Le rapport des isotopes de $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$, $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$, D (^2H)/ ^1H et $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ a été utilisé pour distinguer le fromage de Peretta traditionnel fabriqué à partir du lait produit en Sardaigne (Italie) et des fromages fabriqués avec la matière première importée d'autres pays d'Europe du Nord (Manca et al., 2006). Récemment, une étude des isotopes stables et des profils atomiques H, C, N et S a été développée pour garantir l'authenticité des fromages à pâte dure râpés et en particulier de l'AOP italien Parmigiano-Reggiano (Tedeschi et al., 2013). D'un point de vue global, les ratios isotopiques les plus significatifs pour la traçabilité du fromage concernent les atomes suivant : C, H, N, S (en priorité) et Sr, Cu, Mo, Re, Na, U, Bi, Ni, Fe, Mn, Ga, Se et Li. La variabilité des ratios isotopiques est liée non seulement à la géographie mais

aussi à l'alimentation des vaches et aux processus de fabrication du fromage (Tedeschi et al., 2013).

Cette approche a cependant quelques contraintes importantes. Les conclusions doivent tenir compte des nombreux facteurs environnementaux qui peuvent influencer fortement les rapports isotopiques des aliments. Un autre inconvénient est dû à la préparation longue et coûteuse des échantillons ainsi qu'au coût élevé de l'équipement analytique (Thu, 2008).

2.3.5 Approche moléculaire et microbiologique par MALDI-TOF-MS

La spectrométrie de masse de type *matrix assisted laser desorption/ionisation (MALDI) time of flight (TOF)* est l'une des techniques, de par sa source d'ionisation, la mieux adaptée pour l'analyse d'échantillon solide (bactérie, peptide). Elle permet de désorber et d'ioniser un mélange solide matrice/échantillon à l'aide d'un faisceau laser. Les ions sont alors accélérés et séparés en fonction de leur rapport m/z . L'analyseur de temps de vol mesure le temps que met un ion, soumis à une tension préalable, à parcourir une distance donnée. Le rapport m/z est déduit directement du temps de vol. Chaque molécule détectée est caractérisée par son m/z et l'intensité relative du signal (Freiwald and Sauer, 2009).

La spectrométrie de masse MALDI-TOF a été utilisée pour la caractérisation analytique et structurale de molécules de masse moléculaire importante comme les protéines alimentaires (Alomirah et al., 2000). Cette spectrométrie de masse est aussi très bien adaptée à l'étude de petites molécules comme les peptides ou les métabolites. Pour exemple, les approches par spectrométrie de masse MALDI-TOF permettent 1) de surveiller les petits peptides produits dans le fromage à la suite de la protéolyse (Piraino et al., 2006), 2) d'identifier des peptides séparés par RP-CLHP provenant du fromage Cheddar (Broadbent et al., 1998; Gouldsworthy et al., 1996), 3) d'étudier l'hétérogénéité des caséines ovines (Mamone et al., 2013), 4) de mettre en évidence la production de toxines (Bittar et al., 2009) ou 5) d'étudier l'expression de résistance aux antibiotiques (Majcherczyk et al., 2006).

L'utilisation de la spectrométrie MALDI-TOF présente de nombreux avantages, comme entre autres, la rapidité d'analyse des échantillons (temps d'analyse inférieur à trois minutes), un faible coût analytique par échantillon par rapport à la CLHP (temps d'analyse de

l'échantillon généralement > 100 min). Mais, l'un des avantages majeurs de la spectrométrie de masse MALDI-TOF est sans nul doute sa capacité en imagerie et son applicabilité dans le domaine microbiologique. Pour exemple, le profilage MALDI-TOF-MS devient progressivement une méthode de choix pour l'identification des bactéries (Bizzini et al., 2010; Bizzini and Greub, 2010; Carbonnelle et al., 2011, 2012), des levures et des moisissures (Dhiman et al., 2011; Marklein et al., 2009; Pavlovic et al., 2014; van Veen et al., 2010) issues de l'environnement ou de l'agro-alimentaire. Couplée à des bases de données, l'analyse MALDI-TOF-MS de micro-organismes entiers permet de les identifier et de déterminer le genre, l'espèce et même la sous-espèce à partir d'isolats bactériens (Bunesova, Killer, et al., 2014; Bunesova, Vlkova, et al., 2014; Carbonnelle et al., 2012; Dušková et al., 2012; García-Cayuela et al., 2017; Zeller-Péronnet et al., 2013). Aujourd'hui l'utilisation du MALDI-TOF-MS est largement répandue dans des secteurs d'activité tels que la santé humaine et animale, l'environnement, la pharmaceutique. Malheureusement, cette technique reste encore largement sous-utilisée dans les industries agroalimentaires.

2.3.6 Analyse de l'ADN ou Analyse microbiologique culture indépendante

L'approche culture indépendante basée sur l'analyse de l'ADN ou l'ARN est devenue incontournable pour caractériser l'ensemble de la diversité microbienne d'un écosystème complexe tel que le fromage. Ces méthodes moléculaires sont plus rapides et plus sensibles et ont l'avantage de permettre la détection des micro-organismes difficiles à cultiver ou non cultivables (Quigley et al., 2011). Cette approche a été largement décrite et utilisée depuis une quinzaine d'années pour caractériser la diversité microbienne des laits et des fromages (Jany and Barbier, 2008; Ndoye et al., 2011; Quigley et al., 2013). Ercolini *et al* (2001, 2003, 2004) ont travaillé sur la flore de deux fromages : la Mozzarella d'origine italienne et le Stilton d'origine anglaise. Cette méthode a été aussi appliquée pour caractériser des populations microbiennes dominantes dans le fromage Cabrales espagnol (Flórez and Mayo, 2006) et le fromage Domiati, un fromage traditionnel égyptien (El-Baradei et al., 2007). La même méthodologie a également été utilisée pour distinguer la mozzarella de bufflonne d'Italie AOP de différents producteurs sur une base moléculaire par rapport au lieu de fabrication (Bonizzi et al., 2007). Coppola *et al.* (2001) ont comparé différents modes de fabrication de fromage et ont montré que la microflore du fromage dépend en partie du mode de production («

produit artisanal » vs « produit industriel »). L'identification des espèces sous-dominantes reste le point faible de ces techniques (Bent and Forney, 2008).

Le développement du séquençage à haut débit (HTS, de l'anglais *high-throughput sequencing*), dénommé aussi séquençage de nouvelle génération (NGS, de l'anglais *next-generation sequencing*), est en train de devenir la technologie standard à appliquer pour améliorer notre connaissance des communautés microbiennes (espèces dominantes et sous-dominantes) au sein des différents écosystèmes. L'approche utilisant l'HTS est ni plus ni moins de la métagénomique. Plusieurs travaux ont comparé, par approche métagénomique, le microbiote de plusieurs dizaines de variétés de fromages (pâte et croûte) (Dugat-Bony et al., 2016; Quigley et al., 2012; Wolfe et al., 2014). Delcenserie *et al.* (2014) ont étudié le fromage à pâte molle belge dénommé « Hervé ». Dans cet article, en plus de l'approche culture dépendante, des échantillons au lait cru et d'autres au lait pasteurisé ont été comparés par analyse métagénomique pour étudier la diversité bactérienne au niveau de la croûte et du cœur des différents produits. Les auteurs concluent que le microbiote de surface des fromages à pâte molle et à croûte lavée fabriqué à partir de lait pasteurisé était similaire à celui des fromages au lait cru ; même si des espèces bactériennes représentant moins de 5% de l'abondance relative totale ont été détectées spécifiquement dans le lait cru (86 phylotypes) ou dans le lait pasteurisé (25 phylotypes).

Au final, les analyses microbiologiques basées sur la culture ou sur l'empreinte moléculaire sont en train de laisser progressivement la place aux techniques métagénomiques pour remédier aux faiblesses des anciennes méthodes en écologie microbienne. Néanmoins le monde scientifique doit poursuivre ces efforts pour enrichir les bases de données en séquences génomiques issues de produits laitiers afin de faciliter l'analyse des données produites par l'HTS sur ce type de produit.

2.3.7 Analyses Sensorielles

Les méthodes conventionnelles permettant de décrire des produits sont des méthodes standardisées qui sont fiables, mais qui malheureusement sont lourdes car elles nécessitent des moyens et du temps pour les appliquer. La nouveauté ces dernières années est l'application de méthodes rapides non conventionnelles couplées à l'outil statistique pour caractériser au mieux les produits. Ces méthodes ont la particularité de s'affranchir de la

phase d'entraînement car elles peuvent être réalisées, le plus souvent, avec de simples consommateurs. Elles peuvent être regroupées en deux catégories principales : les méthodes verbales, basées sur la description des produits, comme le profil Flash, la méthode Check-all-that-Apply (CATA) et le profil pivot et les méthodes basées sur des mesures de similarité entre produits, comme le tri, le projective mapping et le positionnement sensoriel polarisé (Chollet et al., 2014; Delarue, 2015; Delarue et al., 2014; Valentin et al., 2012; Varela and Ares, 2012, 2014).

Parmi toutes ces méthodes, nous aborderons celles de la tâche de tri et du profil Flash, méthodes qui seront utilisées dans les expérimentations de cette thèse.

2.3.7.1 La tâche de tri.

La tâche de tri est une procédure simple qui permet d'obtenir un positionnement et une description de produits. Elle est basée sur la catégorisation, un processus cognitif naturel couramment utilisé dans la vie de tous les jours (Lelièvre et al., 2008). Elle consiste à demander aux panélistes de trier les produits en groupes en fonction de leurs similitudes apparentes. Les évaluateurs peuvent utiliser les critères qu'ils souhaitent pour trier les produits, et ils sont libres de créer autant de groupes qu'ils le souhaitent et de mettre autant de produits qu'ils le souhaitent dans chaque groupe (Chollet et al., 2014; Delarue et al., 2014; Valentin et al., 2016; Varela and Ares, 2014). Cette tâche de tri peut être suivie d'une étape de description pour chaque groupe de produits (Faye et al., 2006; Lelièvre et al., 2009; Santosa et al., 2010). On peut également aider les participants avec une liste de descripteurs pour étiqueter leurs groupes (Lelièvre et al., 2008). Les résultats des tâches de tri sont généralement analysés en utilisant une analyse multidimensional scaling (MDS) ou une analyse DISTATIS (Abdi et al., 2007). Lawless et al. (1995) ont utilisé la tâche de tri pour cartographier d'une part, des fromages de différentes variétés et d'autre part, des fromages à pâte persillée.

2.3.7.2 Le profil flash.

Le profil flash repose sur l'évaluation quantitative des produits au moyen d'attributs sensoriels. Cette méthode a été imaginée et développée par Sieffermann (1995, 2000). Elle est basée sur une procédure d'évaluation comparative (Delarue and Sieffermann, 2004) tout en permettant aux panélistes d'utiliser leur propre liste de descripteurs. Les juges évaluent l'ensemble des échantillons pour chaque descripteur : ils reçoivent tous les produits

simultanément et doivent les classer sur chaque attribut du moins intense au plus intense. La comparaison et le classement des produits sont considérés comme une tâche beaucoup plus facile pour les évaluateurs que de donner un score d'intensité absolu pour un seul produit (Petit and Vanzeveren, 2015). Le profil flash peut être utilisé avec un panel non entraîné (Delarue, 2015), ce qui permet d'avoir une méthode facile et rapide. Alvarado *et al.* (2010) ont utilisé le profil Flash pour évaluer l'effet de l'origine sur les caractéristiques sensorielles du fromage Cuajada.

Une analyse de la littérature montre que les méthodes alternatives commencent à être utilisées, en remplacement du profil sensoriel, pour décrire les caractéristiques sensorielles de différents fromages. Ces méthodes semblent être prometteuses pour analyser rapidement les caractéristiques organoleptiques des fromages.

3 Étude du consommateur

Contrairement aux études sensorielles présentées précédemment qui avaient pour objectif de décrire les produits, les études consommateur, se basant sur des **analyses hédoniques**, s'intéressent à la manière dont un produit est accepté par un groupe cible de consommateurs.

3.1 Le choix des consommateurs

Le consommateur est le dernier maillon de la chaîne de production, et ne demande qu'à être satisfait dans ses besoins alimentaires. Le comportement des consommateurs vis-à-vis des aliments est toujours une démarche complexe. Le choix des produits alimentaires est subjectif et dépend de nombreux critères tel que, par exemple, le goût ou le prix. La complexité du choix du consommateur est évidente, plusieurs travaux depuis les années 50 ont été menés pour expliquer les facteurs intervenant dans les choix alimentaires des consommateurs (Khan and Hackler, 1981; Pilgrim, 1957; Shepherd, 1985).

3.1.1 Différents modèles des choix des consommateurs

Il existe différents modèles expliquant les facteurs influençant les consommateurs et leurs choix alimentaires. Ils seront présentés par ordre chronologique de création.

3.1.1.1 Modèle de Randall et Sanjur 1981

Dans le modèle de Randall et Sanjur (1981) (Figure 12), il existe trois groupes de facteurs mais ce sont les interactions entre ces catégories de facteurs qui donnent lieu aux préférences. Selon ces auteurs, les préférences sont à la base de la consommation. Dans les années 1980, alors que ce modèle a été développé, les variables démographiques étaient généralement utilisées pour décrire le comportement de consommation. Il est donc logique que les variables démographiques soient essentiellement mentionnées dans ce modèle. Mais on remarque qu'aucune des caractéristiques physiologiques du consommateur n'est mentionnée.

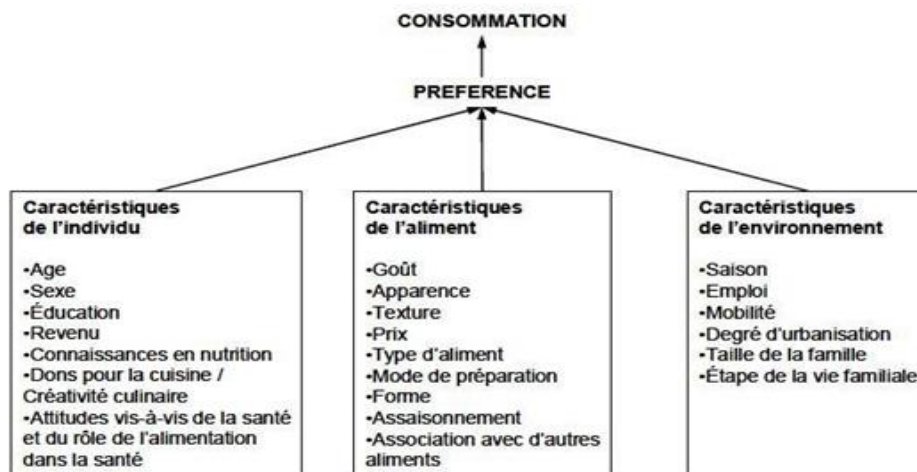


Figure 12. Modèle de Randall et Sanjur (1981).

3.1.1.2 Modèle de Shepherd (1985)

Le modèle de Shepherd (1985) (Figure 13) souligne l'importance de la relation entre différents groupes de facteurs, la perception des caractéristiques sensorielles de l'aliment par l'individu et sa personnalité, les expériences et les croyances de cet individu. Les attitudes de l'individu vis-à-vis de l'aliment résultent de ces interactions mais également de facteurs liés à l'environnement économique et social. Ces attitudes interviennent dans le choix de l'aliment avec les effets physiologiques et les facteurs psychologiques. Ces facteurs varient selon le stade de vie et l'importance relative d'un facteur varie d'un individu ou d'un groupe d'individus à l'autre (Shepherd, 1985).

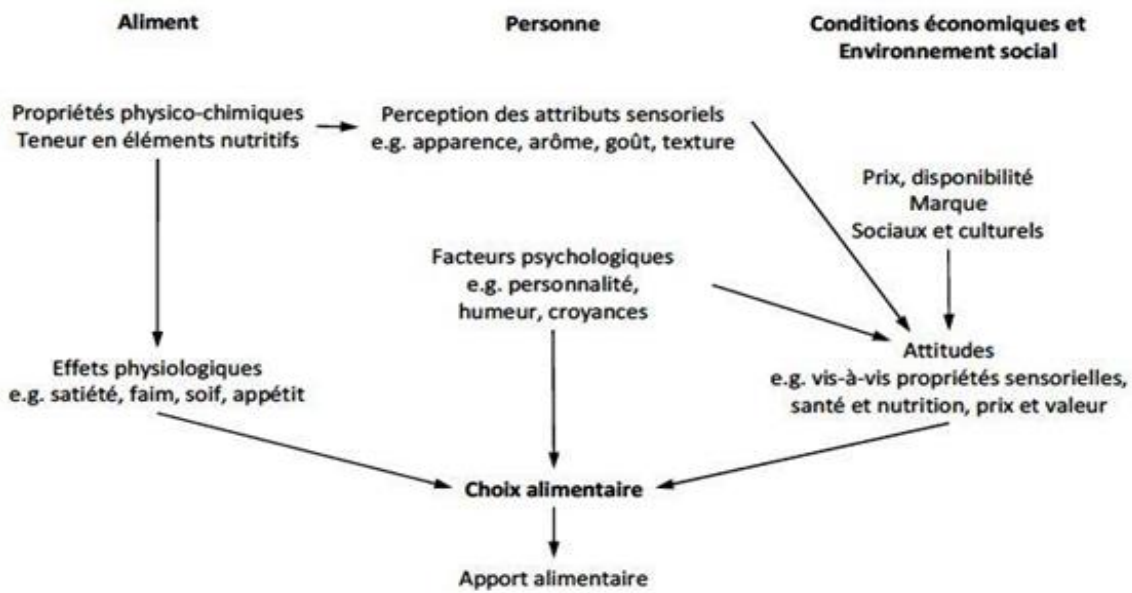


Figure 13. Modèle de Shepherd (1985)

3.1.1.3 Modèle Gains (1994)

Le modèle de Gains (1994) montre que tous les facteurs du choix alimentaire résultent de l'interaction entre l'aliment, le consommateur et le contexte dans lequel cette interaction a lieu (Figure 14). Ce modèle donne plus d'importance au contexte dans lequel l'aliment est consommé. Le contexte est défini par cet auteur comme un produit du temps, du lieu, des circonstances, de la façon, avec qui et avec quoi l'aliment est consommé.

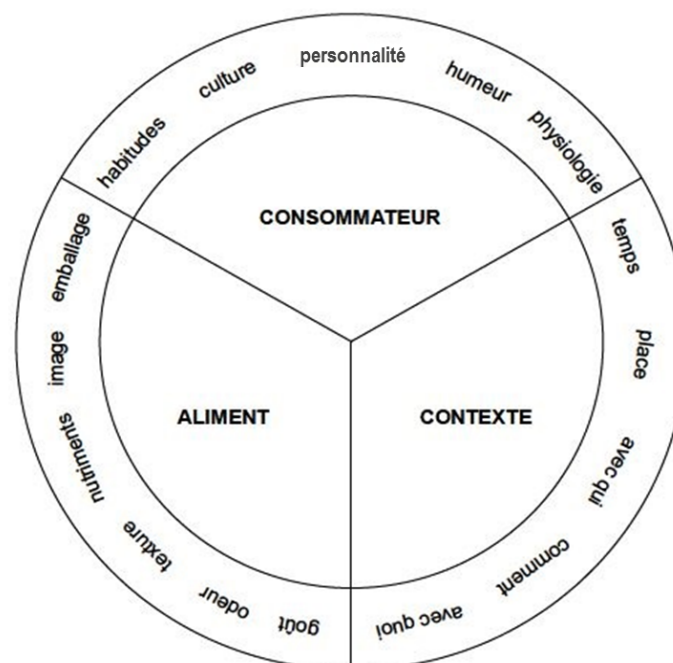


Figure 14. Le modèle de Gains (1994)

3.1.1.4 Modèle de Font-i-Furnols 2014

Font-i-Furnols a divisé les différents facteurs d'influence en trois groupes : facteurs liés aux individus (psychologiques), facteurs liés aux produits (sensoriels) et facteurs environnementaux (marketing) Figure 15.

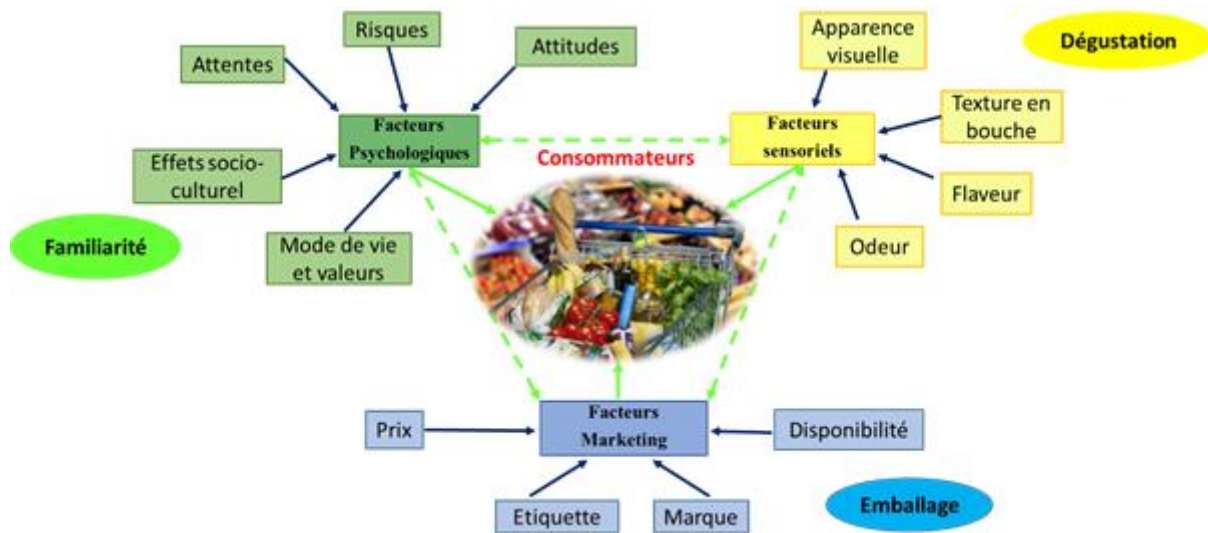


Figure 15. Modèle pluridisciplinaire adapté de Font-i-Furnols *et al.* (2014) des principaux facteurs affectant le choix du consommateur dans le domaine alimentaire.

Facteurs psychologiques (individuel). Le mode de vie, les attitudes, les croyances et les attentes guident notre vie et interviennent dans les choix que nous prenons et rendent nos décisions prévisibles et rationnelles. L'influence socio-culturelle conduit à une différence de consommation et des traditions culinaires, parfois même à des restrictions de produits pour un individu ou groupe d'individus (pas de lait, pas de viande, régime).

Facteurs sensoriels (produit). La dégustation du produit est un facteur déterminant pour le choix du produit, on peut apprécier la couleur, la forme et l'odeur mais le dernier acte, la dégustation, ne nous donne pas satisfaction.

Facteurs marketing (environnemental). Le prix d'un produit est souvent le facteur prépondérant pour le choix d'un aliment et peut être lié au statut socio-économique du consommateur. En même temps l'accessibilité au produit (marque, disponibilité, lieu) peut compliquer le choix du consommateur.

Les différents facteurs cités ci-dessus, tels que les habitudes culinaires pour des produits bien précis, leur appréciation d'un point de vue organoleptique et les connaissances que nous avons déjà acquises comme la marque et le lieu d'achat, créent chez les consommateurs des **attentes**.

3.1.2 Les attentes des consommateurs

Chaque consommateur a des attentes envers un produit ou un service à un moment bien précis. Ces attentes ne sont pas les mêmes d'un individu à un autre et changent d'une situation à une autre. Le dictionnaire Larousse définit *attente* comme "l'action d'attendre quelqu'un, quelque chose, de compter sur quelqu'un, sur quelque chose ; temps pendant lequel on attend". Beaucoup d'auteurs ont travaillé sur l'influence des attentes sur les choix des consommateurs (Caporale et al., 2006; Caporale and Monteleone, 2004; Cardello and Sawyer, 1992; Cardello, 2007; Laureati et al., 2013, 2016). Les attentes sont fortement liées à la satisfaction des consommateurs et à leur insatisfaction et elles sont souvent mesurées en termes de degré de disparité entre la performance attendue et perçue des produits (Anderson, 1973).

3.1.2.1 Le rôle des attentes dans le choix et la consommation des aliments

La Figure 16 présente un diagramme qui illustre au mieux le rôle des attentes sur le choix des aliments, leurs évaluations et l'envie ou non que le consommateur peut avoir pour une nouvelle utilisation des aliments.

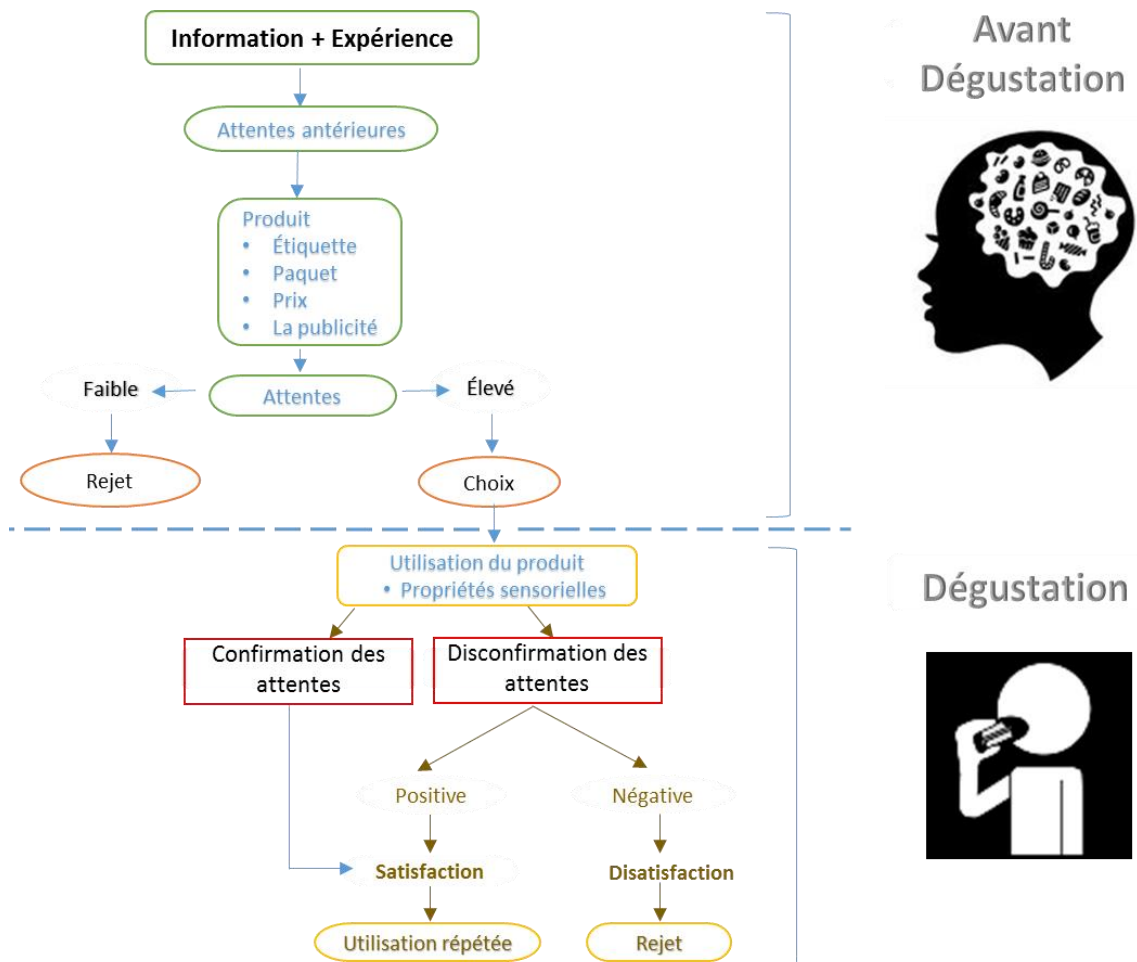


Figure 16. Le modèle illustrant les effets des attentes sur la sélection et l'évaluation des produits (adapté de Deliza et al., 1996)

Pour Deliza & Mac Fie, la première partie du modèle, avant dégustation, démontre le rôle des attentes sur le choix du produit. La deuxième partie concerne la dégustation du produit et les conséquences d'une confirmation ou non confirmation des attentes.

Attente avant dégustation. Chaque individu a des attentes antérieures pour des produits (consommation, tradition, expérience, familiarité, information). Ces attentes antérieures à la présentation du produit (emballage, marque, valeur nutritionnelle, prix, publicité) créeront aussi des attentes, qui peuvent être faibles ou élevées. Une attente élevée est susceptible de provoquer le choix du produit et une faible attente entraîne certainement le rejet du produit.

Attentes avec dégustation. Après avoir choisi le produit il sera dégusté et ses propriétés organoleptiques peuvent confirmer ou infirmer les précédentes attentes. Le modèle prédit qu'une **confirmation des attentes** apparaît si les attributs sensoriels du produit correspondent

aux attentes du consommateur qui choisit ou consomme le produit ; conduisant à la satisfaction et probablement à une utilisation répétée du produit. Au contraire, une divergence entre les caractéristiques attendues et perçues du produit entraîne une **non confirmation des attentes** qui peut donner deux cas de figure : une non confirmation positive des attentes (lorsque les caractéristiques du produit sont meilleures que celles attendues) qui provoque aussi une satisfaction des consommateurs avec une possible réutilisation du produit. Cependant, si une non confirmation négative des attentes (lorsque les caractéristiques du produit sont plus mauvaises que prévues) apparaît, le produit sera rejeté (Cardello and Sawyer, 1992).

3.1.2.2 Les effets d'une non confirmation des attentes (théories)

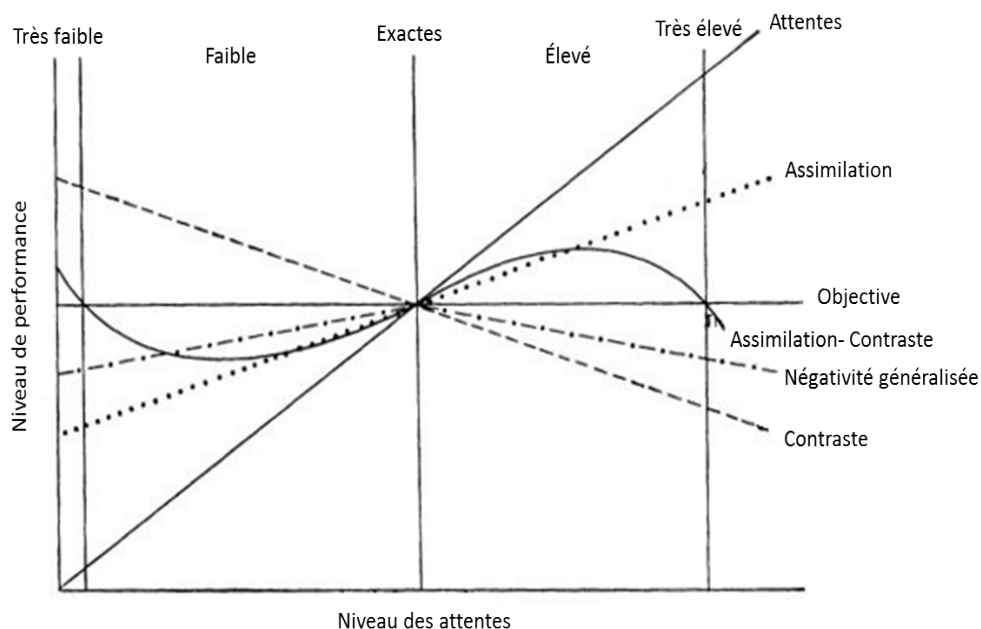


Figure 17. Théories de non confirmation des attentes.

Selon Anderson, (1973), quatre théories psychologiques expliquent la non confirmation créée entre les attentes et la qualité du produit perçue (Figure 17) :

- a) La théorie de l'assimilation, ou théorie de la dissonance cognitive prédit que la performance du produit est assimilée ou minimise le niveau des attentes. Lorsque les consommateurs reçoivent deux idées qui sont psychologiquement dissonantes, certains ont tendance à minimiser le « malaise mental » créé par une attente non confirmée et déforment leur propre évaluation de la

performance pour la rendre plus conforme à leur attente initiale (Festinger, 1957).

- b) La théorie du contraste suppose qu'un consommateur amplifie la disparité entre la performance du produit et le produit attendu. Le contraste est donc le contraire de l'assimilation.
- c) La théorie de la négativité généralisée affirme que toute divergence entre l'espérance et la performance du produit dans toutes les conditions de la non-confirmation provoque une perception hédonique négative généralisée.
- d) La théorie de l'assimilation-contraste suppose qu'il existe des limites d'acceptation ou de rejet dans la perception des consommateurs. Ainsi, si la disparité entre l'espérance et la performance du produit est suffisamment faible, un modèle d'assimilation se produit, alors qu'un modèle de contraste a lieu en cas de fort désaccord.

3.2 La familiarité

3.2.1 Qu'est-ce que la familiarité

La familiarité est un terme complexe qui a été repris dans plusieurs travaux. Le dictionnaire Larousse en donne plusieurs définitions différentes selon le contexte. Une d'entre elles pourrait particulièrement nous intéresser dans la compréhension des mécanismes de choix du consommateur : la familiarité est l'habitude, **connaissance** parfaite de quelque chose, qui s'acquiert par l'usage, l'**expérience**. Dans des travaux portant sur les choix alimentaires, la familiarité est définie comme la connaissance d'un produit (Johnson and Russo, 1984) ou l'expérience (Alba and Hutchinson, 1987; Banovic et al., 2012; Bredahl, 2004; Fischer and Frewer, 2009). Cette expérience peut être accumulée par l'achat et la consommation (Chocarro et al., 2009; Fischer and Frewer, 2009). Ainsi, la familiarité est une condition préalable de la connaissance des produits et de l'expertise des consommateurs (Alba and Hutchinson, 2000; Chocarro et al., 2009).

3.2.2 Influence de la familiarité sur la perception des aliments

Outre les informations sur les propriétés sensorielles, la familiarité joue un rôle important dans le processus de choix des aliments (Fort et al., 2012; Hoppert et al., 2012). La familiarité est un facteur intéressant à considérer lors de l'analyse de la perception de la

qualité et des préférences des consommateurs (Frez-Muñoz et al., 2016). Plusieurs études ont mis en évidence la corrélation entre **l'appréciation hédonique** et le niveau de familiarité alimentaire. Des travaux de Hong et ses collaborateurs (2014) ont montré une forte corrélation entre la familiarité et l'appréciation hédonique. Les consommateurs coréens qui connaissaient les cookies (Yackwa) ont mieux apprécié le produit que les consommateurs français et japonais. D'autres travaux ont montré les mêmes résultats (Borgogno, Favotto, et al., 2015; Lee et al., 2010; Tuorila et al., 2008; Tuorila, Cardello, et al., 1994). La familiarité est l'un des principaux facteurs jouant sur la préférence des produits alimentaires car elle diminue la disparité entre les attentes et les caractéristiques des produits (Deliza and MacFIE, 1996; Tuorila, Meiselman, et al., 1994).

La familiarité peut changer **la perception** du risque des consommateurs, en réduisant les inquiétudes concernant **les effets négatifs** possibles des produits et en réduisant le scepticisme des consommateurs (Verbeke et al., 2009). Hong *et al.* (2014) ont également soutenu leur résultat sur l'appréciation hédonique par le fait que les consommateurs Coréens ont choisi plus de descripteurs divers pour décrire leur appréciation (aimé/pas aimé) que les consommateurs étrangers. Des résultats similaires ont été observés dans des études antérieures (Lawless, Threlfall and Meullenet, 2013; Lawless, Threlfall, Meullenet, et al., 2013; Tuorila et al., 2008). Les consommateurs connaissant mieux le produit sont mieux à même de comprendre la signification de l'information sur le produit et, par conséquent, recherchent des attributs ou des indices particuliers. Ils se concentrent également sur des informations qu'ils savent être plus pertinentes pour leurs évaluations de produits (Dick et al., 1990). Les consommateurs ayant une plus grande familiarité avec le produit (ou plus d'expérience) utilisent moins de signaux extrinsèques et plus d'indices intrinsèques que les consommateurs moins familiarisés avec le produit (Bredahl, 2004). Donc, les consommateurs les plus familiers utilisent des attributs plus précis pour décrire les produits alimentaires. Banovic et ses collaborateurs (2012) trouvent que les consommateurs ayant une grande familiarité ont tendance à utiliser la couleur de la viande pour évaluer la qualité du bœuf, tandis que les consommateurs peu familiers ont tendance à croire que la marque est le signe le plus valable pour évaluer la qualité du bœuf.

Le niveau de familiarité avec le produit crée une discrimination entre les consommateurs, résultats observés dans plusieurs travaux avec des groupes de consommateurs familiers qui apprécient le produit par rapport à des consommateurs moins familiers (Banovic et al., 2012; Borgogno, Corazzin, et al., 2015; Borgogno, Favotto, et al., 2015; Seo et al., 2008). Les travaux de Seo et ses collaborateurs (2013) ont montré une discrimination entre des personnes avec des niveaux d'expérience avec des aliments locaux différents : les personnes expérimentées donnent une image positive de la nourriture locale et ont l'intention de consommer ces aliments par rapport à des personnes ayant peu d'expérience avec la nourriture locale (Seo et al., 2013).

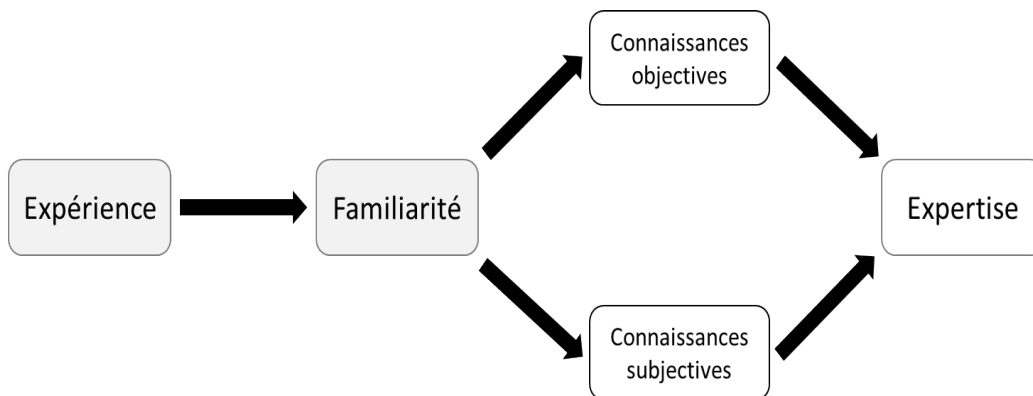


Figure 18. Familiarité et connaissance du produit (Banovic et al., 2012).

Ainsi, la familiarité est une condition préalable de la connaissance des produits et de l'expertise des consommateurs (Alba and Hutchinson, 2000; Chocarro et al., 2009), comme l'indique la Figure 18. L'expertise, acquise par la familiarité, désigne la capacité à accomplir des tâches avec plus de succès et pour faire face à des problèmes plus complexes (Alba and Hutchinson, 1987). La familiarité représente le résultat de deux dimensions distinctes, à savoir les connaissances objectives et subjectives (Chocarro et al., 2009; Raju et al., 1995; Rao and Monroe, 1988). Les connaissances subjectives représentent les perceptions personnelles d'un consommateur sur ce qu'il sait d'un produit (d'un point de vue qualitatif et quantitatif), tandis que les connaissances objectives caractérisent les informations stockées et leur organisation dans **la mémoire**. Pour conclure, la familiarité est une notion complexe, étroitement liée à la notion d'expérience et d'expertise du consommateur.

3.3 Représentations sociales

Nous venons de voir que la familiarité influence grandement les choix et les préférences des consommateurs. Cette influence pourrait s'expliquer par le fait que, la familiarité joue également sur les représentations sociales des consommateurs.

3.3.1 Généralités

La **représentation sociale** est un concept introduit en 1898 par le sociologue Emile Durkheim. La représentation sociale est définie par Denise Jodelet comme *"une forme de connaissance, socialement élaborée et partagée, ayant une visée pratique et concourant à la construction d'une réalité commune à un ensemble social"* (Jodelet, 1984). Pour Fischer, "la représentation sociale est *"un processus, un statut cognitif, permettant d'appréhender les aspects de la vie ordinaire par un recadrage de nos propres conduites à l'intérieur des interactions sociales"* (Fischer, 2010). Toutes ces définitions nous permettent de dire que la représentation sociale est un ensemble de connaissances, d'informations, d'opinions, d'attitudes et de croyances concernant un produit, qui ont été produites au niveau de la société, marqué par l'histoire du groupe et l'appartenance à un milieu socio-idéologique précis. La représentation sociale représente des modalités de pensée pratique, orientées vers la communication, la compréhension et la maîtrise de l'environnement social. La représentation sociale peut être d'un objet réel (par exemple, le vin, le fromage) ou irréel (par exemple le chômage ou le travail).

Moscovici (1961) a contribué grandement aux études sur la représentation sociale. Il en dégage trois dimensions : **l'information** (connaissances sur l'objet mesurées par questionnaires ou entretiens), **l'attitude** (connotation positive ou négative à l'égard de l'objet mesurée par échelles) et **le champ de représentation** (organisation hiérarchique des informations et leur importance). La représentation sociale est une structure hiérarchisée qui permet d'étudier ce que pensent les personnes de tel objet ou tel concept. Elle comporte des éléments constructifs (contenu de la représentation), mais aussi la façon dont ils pensent (relations entre les éléments c'est-à-dire la structure) et pourquoi ils le pensent.

En somme, les représentations sociales étudient les informations que l'individu a à propos d'un produit et comment elles sont utilisées par l'individu ou un groupe d'individu pour réagir avec son environnement.

3.3.2 Comment évalue-t-on les représentations sociales ?

Il existe différentes approches pour appréhender les représentations. Les techniques de citations associées (Grebitus and Bruhn, 2008) et la tâche de tri libre (Chollet et al., 2011). Ces techniques sont utilisées pour avoir des "représentations conceptuelles ou perceptuelles". Une approche de mesure des représentations sociales, celle que l'on utilisera dans la suite de nos travaux, est la théorie du noyau central en tant qu'approche structurale des représentations sociales (Abric, 2001). Cette approche propose une tâche d'association libre combinée à un classement et à des mesures attitudinales pour accéder aux « représentations sociales ». Tous les éléments de la représentation n'ont pas le même degré d'importance, les croyances partagées par les membres d'un même groupe social sont structurées autour d'un système central, appelé le noyau central (Figure 19). Celui-ci constitue une composante fondamentale de la représentation dont la fonction principale est de générer le sens global du champ représentationnel, il structure les pensées relatives à l'objet et organise son contenu. Autour du noyau central sont organisés les éléments périphériques qui peuvent être considérés comme l'interface entre le noyau central et la réalité quotidienne. Ils permettent donc l'adaptation de la représentation à des contextes sociaux variés, la protection du noyau central (pare chocs) des contraintes externes pouvant fragiliser son assise et sa cohérence.

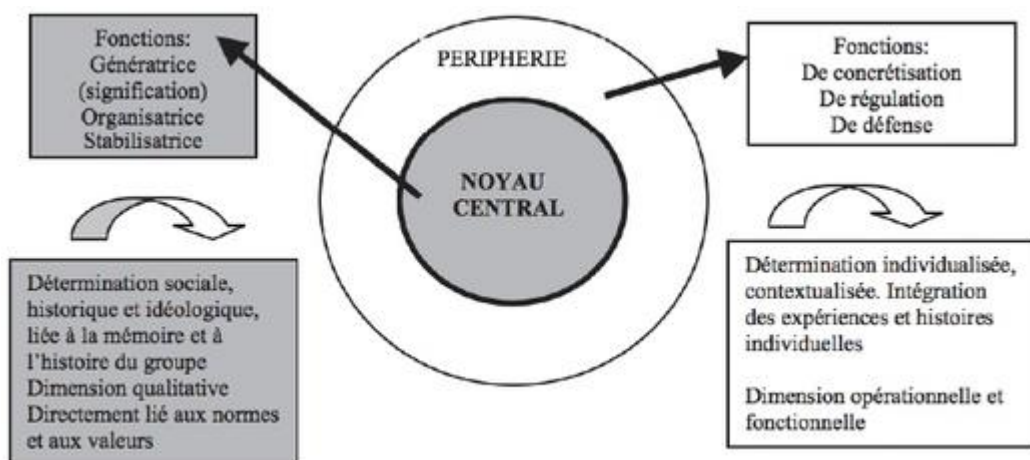


Figure 19. Théorie du noyau central (Abric, 1987).

3.3.3 Application à l'alimentation

Des travaux ont été réalisés en évaluation sensorielle sur l'étude de la minéralité du vin (Rodrigues et al., 2015), la complexité du vin (Parr et al., 2011), l'influence de la culture (Mouret et al., 2013), la représentation des nourritures non éthiques (Mäkiniemi et al., 2011), l'innovation alimentaire biologique (Bartels and Reinders, 2010), les représentations alimentaires (Huotilainen and Tuorila, 2005) et la consommation de bière artisanale et industrielle en France et au Mexique (Gómez-Corona et al., 2016).

L'étude des représentations sociales semble donc être prometteuse pour mieux comprendre l'influence de la notion de Maroilles fermier sur le choix des consommateurs en fonction de leur degré d'expertise.

**CHAPITRE 1. LES MAROILLES FERMIERS ET
INDUSTRIELS SONT-ILS VRAIMENT DIFFÉRENTS ?
COMPARAISON À L'AIDE D'APPROCHES
SENSORIELLES, PHYSICOCIMIQUES ET
MICROBIOLOGIQUES.**

1 Introduction

À l'origine, le Maroilles est un fromage à base de lait cru mais de nos jours avec l'émergence de procédés industriels et aussi pour des raisons de sécurité, le lait pasteurisé est également utilisé pour produire des Maroilles industriels en bénéficiant toujours de l'appellation d'origine protégé (AOP). Plusieurs études expliquent que le traitement thermique peut influencer la qualité des fromages (Albenzio et al., 2001). Cette influence peut être liée, d'une part, aux enzymes qui se trouvent naturellement dans le lait, telle que, la lipoprotéine lipase (LPL) naturellement présente dans le lait en raison d'un transfert du sang au lait par la glande mammaire (Schulz-Collins and Senge, 2004). Son activité est réduite dans les fromages au lait pasteurisé (72°C, 15 s) et elle est complètement inactivée par un traitement thermique à 78°C pendant 10 s (Deeth and Fitz-Gerald, 1983; Driessen, 1989). La LPL participe à la libération des acides gras à courte et moyenne chaîne (C6 à C12) (Frétin, 2016). D'autre part, le traitement thermique joue également un rôle sur la biodiversité de la flore indigène naturellement trouvée dans le lait (Albenzio et al., 2001). Quelques auteurs ont travaillé sur la différence entre les fromages industriels (fabriqués à partir de lait pasteurisé) et fermiers (fabriqués à partir de lait cru). Horne *et al.* (2005) ont étudié le fromage italien Piacentinu Ennese du point de vue des différences de leur profil en composés volatils, des descripteurs sensoriels (goûts salés et épicés) et de la texture (Horne et al., 2005). Rea *et al.* (2016) ont trouvé des différences en termes de caractéristiques physicochimiques et de population microbiologique du fromage italien Burrata (Rea et al., 2016). Tunick *et al.* (2010) ont comparés des fromages frais fabriqués au Mexique à partir de lait cru par rapport aux fromages fabriqués au Mexique et aux États-Unis à partir de lait pasteurisé (Tunick and Van Hekken, 2010). Les fromages au lait cru ont un taux d'humidité plus élevé et une texture moins dure que les fromages au lait pasteurisé qui ont une texture friable et cassante. Albenzio *et al.* (2001) ont rapporté des différences dans les caractéristiques microbiologiques et biochimiques (profils d'acides aminés et d'acides gras) pour le fromage Canestrato Pugliese (Albenzio et al., 2001). Campolo *et al.* (2013) ont travaillé sur le fromage Pecorino Calabrese et ont trouvé que le nombre de levures/moisissures, de coliformes totaux et d'entérocoques était significativement plus élevé, tout comme les taux d'impureté et de sel, dans le fromage fermier par rapport au fromage industriel (Campolo et al., 2013). À partir de ce constat, une série de questions a été soulevée concernant le Maroilles :

Est-ce que les Maroilles fermiers et industriels présentent des caractéristiques différentes ? Ont-ils des caractéristiques sensorielles (couleur, odeur, goût, texture...), microbiologiques et physicochimiques distinctes ? Si ces différences existent réellement, les consommateurs sont-ils capables de les percevoir ?

Pour essayer de répondre à ces questions une approche pluridisciplinaire a été réalisée pour étudier la gamme des fromages artisanaux et industriels disponibles sur le marché. La présente étude vise à déterminer les principales caractéristiques qui confèrent à chaque type de fromage Maroilles ses caractéristiques uniques, spécifiques et distinctives. Les objectifs de ce travail sont donc 1) d'évaluer les paramètres sensoriels, microbiologiques et physicochimiques des fromages artisanaux et industriels de Maroilles et 2) de tester si ces deux types de fromages de Maroilles peuvent être discriminés.

2 Article

Le résultat de l'étude se présente sous la forme d'un article de recherche soumis à *International Dairy Journal*.

Artisanal and industrial Maroilles cheeses: Are they really different?

Comparison using sensory, physico-chemical and microbiological approaches

Nacef, M.¹, Lelievre-Desmas, M.¹, Drider, D.¹, Flahaut, C.¹ and Chollet, S*.¹

¹ISA, Univ. Lille, INRA, Univ. Artois, Univ. Littoral Côte d'Opale, EA 7394 - ICV - Institut Charles Viollette, F-59000 Lille, France

* Corresponding author. Address: ISA Lille, 48 Boulevard Vauban, 59046 Lille Cedex
Tel.: +33 3.28.38.46.36; Fax: +33 3.28.38.48.47
E-mail address: Sylvie.chollet@yncrea.fr

Key words: artisanal, industrial, Maroilles cheeses, sensory, physico-chemical, microbiological

Running title: Comparison of artisanal and industrial Maroilles cheeses using sensory, physico-chemical and microbiological parameters

ABSTRACT

The Maroilles cheese is a soft French PDO (protected designation of origin) cheese with washed rind. The Maroilles is available in several brands and can either be manufactured by hand or industrially in the North of France. But are the artisanal and industrial Maroilles really different? To investigate this question, seven artisanal and eight industrial Maroilles were subjected to a sensory analysis based on a sorting task, a microbiological evaluation, an analysis of main physico-chemical parameters (concentrations in organic matter and protein, pH, water activity, and ions), a texture analysis by penetration test and an evaluation of color parameters (L^* , a^* and b^*). The analyses showed large differences among the 15 Maroilles on almost all the measured parameters. Moreover, the overall analysis of the datasets by multiple factor analysis (MFA) highlighted two clusters of artisanal Maroilles and one cluster that includes all the industrial Maroilles.

1. Introduction

Cheese is a dairy product that played a key role in human nutrition for centuries (Muehlhoff, Bennett, & McMahon, 2013). The wide range of types of cheeses is primarily due to the environmental features of every region, and consequently to the production technologies that have been constantly adapted to the context and optimized. The main objective has always been and remains in converting perishable milk into a product with a longer shelf life whilst preserving most of its nutrients and benefits (Elsamani, Habbani, Babiker, & Mohamed Ahmed, 2014; Mohamed Ahmed, Babiker, & Mori, 2010). Cheese remains a relatively expensive product, synonym of gustatory delight, and can have either beneficial or harmful effects on health depending of its consumption frequency and the quantities ingested.

In France, cheese is a national pride, an identity product and a very appreciated aliment which takes a key and staple place on French consumers' table. There are more than 1000 different varieties of cheese (Dugat-Bony et al., 2016). In 2015, French people has consumed 26.8 kg of cheese per person and per year (Cniel, 2016). Maroilles cheese is a northern variety holding a protected designation of origin (PDO) that is produced in relatively large amounts (more than 4,000 tons have been produced, in 2015) (Cniel, 2016). At first, the Maroilles was an artisanal cheese made with raw milk. Nowadays with the emergence of industrial processes and also for safety reasons, pasteurized milk is also used to produce industrial Maroilles.

The PDO Maroilles cheese is a soft cheese with washed rind which is manufactured in the Thiérache area of the Hauts-de-France region located in the northern France. The Maroilles is ripened for 4 to 6 weeks depending on the size, during which the rind is washed 2-3 times a week. It has a square shape and weighs between 180 and 750 g. The paste has an ivory-white color while the rind has a red-orange color uniformly distributed due to the growth of red ferment (*Brevibacterium. linens* and *Brevibacterium. aurantiacum*) (Delcenserie et al., 2014; Gori, Ryssel, Arneborg, & Jespersen, 2013; Nacef, Chevalier, Chollet, Drider, & Flahaut, 2017).

During the last years, several studies have been carried out to characterize cheeses, especially those bearing labels such as PDO cheeses. Examples include Salers cheese (Didienne et al., 2012), Camembert (Ktoury, Mpagana, & Hardy, 1989; Schlessler, Schmidt, & Speckman, 1992; Vassal, Monnet, Le Bars, Roux, & Gripon, 1986), and Emmental (Deegan et al., 2013; Falentin et al., 2010; Saurel, Pajonk, & Andrieu, 2004). Few studies focused on the comparison between artisanal and industrial cheeses (Albenzio et al., 2001; Buffa, Guamis,

Saldo, & Trujillo, 2004; Horne et al., 2005; Rea et al., 2016; Tunick & Van Hekken, 2010), artisanal cheeses are made from raw milk which undergoes specific traditional processes and ripening conditions; whereas industrial cheeses are made from pasteurized milk and are processed and ripened in large scale. Some studies assessed the effect of maturation time (Magenis et al., 2014; Rocha, Buriti, & Saad, 2006; Visotto, Oliveira, Prado, & Bergamini, 2011). Given that artisanal cheeses have a longer maturation time compared to industrial cheeses, the results of these two types of studies could be compared. Moreover, the very few studies that have been carried out on the PDO Maroilles cheese focused on the neutral volatile compounds of this cheese (Dumont, Roger, & Adda, 1974) or its color (Dufossé, Galaup, Carlet, Flamin, & Valla, 2005). However, these studies did not take into consideration the differences between artisanal and industrial Maroilles cheeses. Based on the above, a series of questions has been raised: 1) Are artisanal and industrial Maroilles cheeses really different? 2) Are consumers able to perceive this difference, if it exists? And 3) Do artisanal and industrial Maroilles cheeses have distinct odor, color, taste, texture, and microbiological and physico-chemical features?

One approach to protect and better understand the quality of PDO Maroilles cheese is to conduct an overall characterization of artisanal and industrial Maroilles cheeses available in the market. The present study aims to determine the main characteristics that give each type of Maroilles cheeses their unique, specific and distinctive features. Therefore, the objectives of this work are 1) to assess the sensory, the microbiological and physicochemical parameters of artisanal and industrial Maroilles cheeses, and 2) to test whether these two types of Maroilles cheeses can be discriminated.

2. Materials and methods

2.1. Cheese samples and sampling

Fifteen commercially available Maroilles of a same size were used and are listed in Table 1. Seven of them were artisanal products (Table 1, green color) made from raw milk while the eight others were industrial products (Table 1, red color) made from pasteurized milk. For each cheese, samples from the rind (surface) and from the heart (paste) were taken. Rind sampling was performed to 5 mm depth in each side of the cheese. Rind samples (> 5mm) were only used for colorimetry, water activity and microbiological analyses.

Table 1. Maroilles cheeses sampled for this study. The green color is used for the artisanal Maroilles and the red for the industrial ones.

Number	Brands	Productor	Abreviation
1	Bonne sence	SARL laiterie des étangs de Sommeron	I-Leduc 1
2	Château Courbet	G.A.E.C du Château Courbet	A-Courbet
3	Ponts des loups	La ferme du pont des loups	A-Loups
4	Fauquet	Les Fromagers de Thiérache	I-Fauquet 1
5	Lesire (demi affiné)	ETS Lesire et Roger	I-Lesire 1
6	Maroilles FR	Maroilles Freres	A-Freres
7	Moulin	La ferme du Moulin	A-Moulin
8	Leduc	SARL laiterie des étangs de Sommeron	I-Leduc 2
9	Cerfmont	La Ferme de Cerfmont	A-Cerfmont
10	Finaud	Les Fromagers de Thiérache	I-Fauquet 2
11	Lesire (affiné)	ETS Lesire et Roger	I-Lesire 2
12	Beffroi	SARL laiterie des étangs de Sommeron	I-Leduc 3
13	Bahardes	La Ferme des Bahardes	A-Bahardes
14	Hennart	SAS Hennart Frères	A-Hennart
15	Fonné	Les Fromagers de Thiérache	I-Fauquet 3

2.2. Analyses

Sensory analysis

The methodology of sorting task (Chollet, Lelièvre, Abdi, & Valentin, 2011; Chollet, Valentin, & Abdi, 2014) was used to obtain a positioning and a description of the 15 different Maroilles cheeses. In the sorting task procedure, the entire set of 15 cheeses was presented to assessors. The presentation order of samples is randomized and is different for each assessor. Assessors started to taste all the cheeses one at a time. Then the assessors were asked to group the cheeses that seemed similar to them. No criterion was provided to perform the sorting

task. Visual appearance, aroma, taste and texture could be used. Assessors were free to make as many groups as they wanted and to put as many cheeses as they wanted in each group. No time restriction was imposed on the assessors to perform this exercise. The experiment was conducted in separate booths. Mineral water was provided for assessors to rinse their palate between two tests. For each Maroilles cheese, a cylindrical piece with the rind and the heart of 25 g of cheese was stored at 4°C and served at 12°C in a plastic cup coded with a 3-digit number. The experiment was carried out with 20 consumers from Lille (9 males and 11 females aged from 20 to 55 years old, mean age =45 years).

Microbiological analysis

For each cheese, 25 g sampled from the rind or the heart were homogenized in 225 mL of 0.9% sterile saline solution (BagMixerR 400, Interscience, Saint-Nom-la-Bretèche, France). Serial dilutions (10^{-1} to 10^{-7}) were performed and 1 ml were spread over a surface of a nutrient medium in a Petri dish. Total mesophilic bacteria were enumerated on standard plate count Agar (PCA) after incubation at 30 °C for 72h according to ISO 4833-1:2013. Lactic acid bacteria (LAB) were enumerated on Man, Rogosa & Sharpe (MRS) medium (VWR international, Fontenay-sous-Bois, France) after incubation at 30°C for 24-48h (ISO 15214:1998). Enterobacteria were enumerated on violet red bile glucose agar (VRBGA) after incubation at 37°C for 18-24h (ISO 21528-2:2017) and the molds and yeasts on Sabouraud chloramphenicol agar (SCA) after incubation at 22°C for five days (ISO 21527-2:2008). All Maroilles cheese samples were analyzed in one single session, 3 replicates per sample.

Chemical analysis

Moisture and ash contents were determined according to AOAC (2000). Five grams of each sample were placed in a stainless lid-covered steel dish. Weight loss after drying (oven drying at $104\pm 2^{\circ}\text{C}$) to a final constant weight was recorded as moisture content. For ash, five grams of dried cheese sample were incinerated in an oven, overnight using a heating rate of 50°C/h up to the final temperature of 550°C (AOAC, 2000). Total nitrogen was measured by the Kjeldahl method with a conversion factor of 6.38 for crude protein. Lipid content was evaluated using a Gerber butyrometer especially developed for cheeses. The pH was determined by direct insertion of pH probe into the cheese (pH meter 507 Crison, Crison Instrument S.P.A., Carpi, Italy). Water activity (a_w) was measured using an Aqua-Lab Dew Point Analyser CX-2 (Decagon Devices Inc., Pullman, WA, USA) at room temperature. Three replicates per sample were carried out.

The analysis of mineral elements was performed using an AA-6800 flame atomic absorption spectrometer (Shimadzu Corporation, Japan) equipped with an ASC-6100 auto sampler (Shimadzu Corporation, Japan). The wavelengths used were 422.7 nm for Ca, 589.6 nm for Na, 285.2 nm for Mg, 766.5 nm for K, 213.9 nm for Zn and 228.8 nm for Cd. The ash samples were weighed in a high precision balance and 0.1g of each sample were placed in a 15ml-glass tube followed by the addition of 3ml HNO₃ (70% w/v) and 3ml H₂O₂ (30% w/v) solutions. Afterwards, the samples were heated in a hotblock device at 95°C for 1.5 hours. The samples were finally rinsed by ultra-pure water up to 15ml and were homogenized by agitation. The samples were diluted up to a final volume of 10ml for the Ca, Mg, Na and K assays where the LaCP3 (1% w/v) was used as dilution agent for Ca (DF 100) and Mg (DF 20), while distilled H₂O was used for Na (DF 1000) and K (DF 20). The mineral assays were performed in triplicate for each sample.

Texture analysis: penetration test.

Entire cheese samples were used to measure hardness and adhesiveness by penetration test that was carried out using a TA-XT2 texture analyzer (Stable Micro Systems Ltd., Godalming, UK) equipped with a 10 mm diameter cylindrical probe. The application forces were tuned at 20% (corresponding to the peripheral area of the cheese, i.e. rind) and 80% (corresponding to the heart of the cheese) of cheese height with a penetration rate of 1 mm/s. The force value (KG) at the penetration depth was used to compare the cheeses: positive peak (PP) for hardness and negative peak (PN) for adhesiveness (corresponding to the exit of the probe after relaxation phase). Three replicas per cheese were carried out for each depth.

Color analysis

Color analysis was carried out using a reflectance colorimeter spectrophotometer CM- 3610d (Konica Minolta, Osaka, Japan). Illuminant D65 was used with an illumination angle of 10°. Three measurements were carried out at different points of the surface. The CIELab color space parameters studied were: lightness (L*) changing from dark 0% to light 100% chromaticity, the red–green dimension (a*) changing from green -60 to red +60 chromaticity and the blue-yellow dimension (b*) changing from blue -60 to yellow +60 chromaticity. The results obtained were interpreted using the software package Color Data Software CM-S100w Spectra Magic TM NX version 1.9, Pro USB (Konica Minolta, Osaka, Japan).

2.3. Statistical analysis

Sensory data were analyzed using DISTATIS (Abdi, O'Toole, Valentin, & Edelman, 2005; Abdi, Valentin, Chollet, & Chrea, 2007). This analysis provides a cheese map representing the similarities among the cheeses. The words used to describe the cheese groups of the sorting task are projected as supplementary points on the DISTATIS map (e.g. they do not contribute to the DISTATIS dimensions). Statistical analysis was performed using R software.

For all the other analyses (microbiological, chemical, texture and color analyses), the results were expressed as means and standard deviations (\pm SD). The data were assessed by analysis of variance (ANOVA) with nested design considering the cheeses (15 Maroilles cheeses) and the type (Artisanal or Industrial) as factors and microbiological, chemical, texture and color parameters as dependent variables. Post-hoc pairwise testing among all cheeses or between types was performed using Tukey test (with a $p < 0.05$).

For each set of analyses (microbiological, chemical, texture and color), a principal component analysis (PCA) was applied to the mean values of three replicates in order to identify correlations among parameters and to group the cheeses accordingly. After computing PCA, a hierarchical cluster analysis (HCA) using the Ward algorithm was performed on the PCA coordinates of the first two axes to obtain clusters of Maroilles cheeses. Finally, a multiple factor analysis (MFA) was carried out to investigate the relationship among the different sets of analyses (sensory, microbiological, chemical, texture and color).

3. Results and discussion

3.1. Sensory analysis

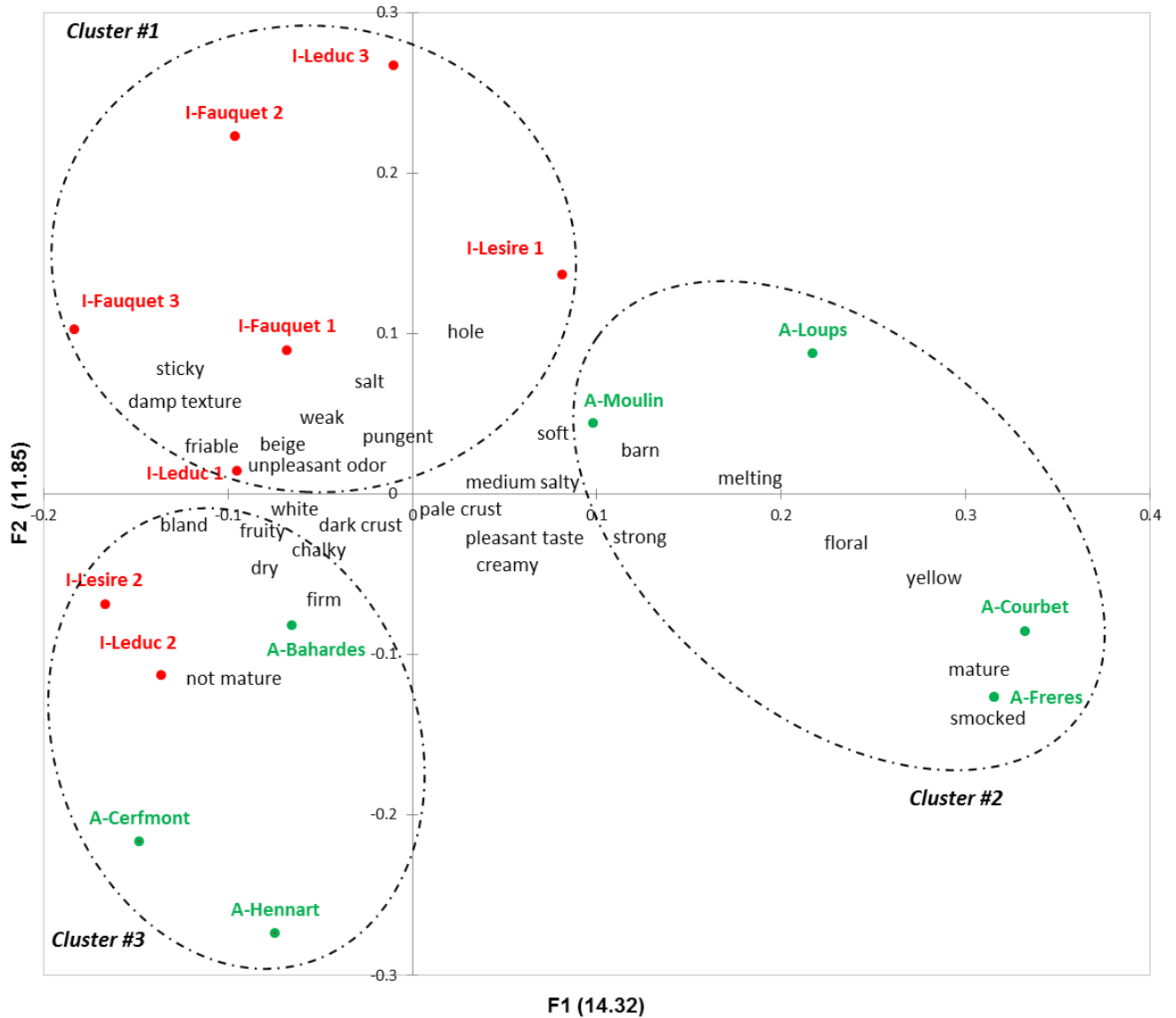


Fig 1. Positioning of 15 Maroilles cheeses and the associated descriptors used by consumers issued from the sorting task. The ellipses represent the clusters yielded by the hierarchical cluster analysis. The green color represents the artisanal Maroilles while the red one represents the industrial Maroilles.

As shown in Figure 1, the DISTATIS map explains 25.17% of the variance and illustrates the clusters of Maroilles cheeses and their description. Three clusters that resulted: the cluster #1 contains 6 industrial Maroilles cheeses (Fauquet 1, 2 and 3, Leduc 1 and 3, Lesire 1), the cluster #2 contains 4 artisanal Maroilles cheeses (Loups, Moulin, Courbet, Freres) and the cluster #3 is a mixed cluster containing both types of Maroilles cheeses (2 industrial Maroilles Lesire 2, Leduc 2 and 3 artisanal Maroilles Cerfmont, Bahardes, Hennart). Cluster #1 is characterized by the terms “beige”, “weak” and “unpleasant” odor, “salt”, “pungent”,

“sticky”, “hole” and “damp texture”. Cluster #2 is defined by the terms “yellow”, “smoked”, “floral”, “barn”, “strong” odor “melting”, and “mature” and cluster #3 by the terms “fruity”, “bland”, “chalky”, “dry”, “firm” and “not mature”. Therefore, from a sensory point of view, the consumers successfully differentiated and characterized distinctly the artisanal and industrial Maroilles. The use of the sorting method with descriptive comments helps to better understand the categorization choices of assessors as shown, for instance, by the work on olive oil of Santosa and collaborators (Santosa, Abdi, & Guinard, 2010).

3.2. Microbiological analysis

Table 2. Microbiological evaluation of 15 Maroilles cheeses

N°	Cheeses	Total mesophilic bacteria			Lactic acid bacteria			Enterobacteria			Yeasts and molds								
		<i>rind</i>			<i>heart</i>			Total mesophilic bacteria			Lactic acid bacteria			Enterobacteria			Yeasts and molds		
1	A-Bahardès	2.53 E+08 ± 1.65 ^{cde}	5.13E+07 ± 0.81 ^b	3.70E+03 ± 3.18 ^{bcd}	1.17E+05 ± 0.44 ^b	2.49E+08 ± 1.04 ^{ab}	1.15E+08 ± 0.49 ^b	7.67E+02 ± 6.11 ^{ab}	1.33E+04 ± 0.66 ^b										
2	A-Cerfmont	1.03E+08 ± 0.81 ^{de}	1.30E+07 ± 0.61 ^c	2.87E+03 ± 2.42 ^{abc}	2.40E+05 ± 2.25 ^b	8.53E+07 ± 1.01 ^{cd}	4.55E+07 ± 2.7 ^{bcd}	2.33E+03 ± 1.53 ^a	2.97E+04 ± 3.32 ^{ab}										
3	A-Courbet	2.03E+08 ± 0.07 ^{cde}	1.00E+07 ± 0.2 ^c	7.17E+03 ± 4.37 ^a	3.51E+03 ± 0.78 ^b	2.39E+08 ± 0.07 ^{ab}	2.64E+07 ± 0.46 ^{cd}	3.47E+01 ± 0.61 ^{ab}	0.00E+00 ± 0 ^b										
4	A-Freres	3.43E+08 ± 0.48 ^{cd}	3.33E+06 ± 1.97 ^c	5.67E+03 ± 4.51 ^a	6.73E+04 ± 0.42 ^b	1.66E+08 ± 0.39 ^{bc}	8.87E+07 ± 2.73 ^{ab}	1.70E+03 ± 2.04 ^{ab}	4.33E+03 ± 3.06 ^b										
5	A-Hemart	8.80E+07 ± 1.11 ^{de}	1.33E+07 ± 0.61 ^c	0.00E+00 ± 0 ^c	2.31E+06 ± 2.33 ^{ab}	5.73E+07 ± 0.46 ^d	1.83E+07 ± 1.53 ^{cd}	0.00E+00 ± 0 ^b	2.27E+04 ± 1.78 ^{ab}										
6	A-Moulin	4.05E+08 ± 1.12 ^{bc}	9.23E+06 ± 0.6 ^c	4.33E+03 ± 2.52 ^{abc}	1.47E+05 ± 0.49 ^b	2.60E+07 ± 0.79 ^d	6.20E+06 ± 2.08 ^d	1.77E+03 ± 0.38 ^{ab}	8.17E+03 ± 1.04 ^b										
7	A-Loups	2.68E+08 ± 0.97 ^{cde}	1.00E+07 ± 0.1 ^c	7.00E+03 ± 3.61 ^{ab}	1.20E+05 ± 0.2 ^b	2.47E+07 ± 0.45 ^d	1.07E+07 ± 0.37 ^d	1.50E+03 ± 1.32 ^{ab}	3.04E+04 ± 1.77 ^{ab}										
8	I-Leduc 3	2.92E+08 ± 1.14 ^{cde}	4.25E+06 ± 4.99 ^c	1.44E+03 ± 2.22 ^{abc}	2.07E+05 ± 1.1 ^b	1.79E+08 ± 0.11 ^{bc}	7.17E+07 ± 1.36 ^{abc}	0.00E+00 ± 0 ^b	1.63E+04 ± 0.77 ^b										
9	I-Leduc 1	2.25E+08 ± 0.9 ^{cde}	6.93E+07 ± 0.6 ^{ab}	4.37E+02 ± 2.32 ^{abc}	1.61E+03 ± 0.95 ^b	1.27E+07 ± 0.64 ^d	3.45E+06 ± 1.3 ^d	8.67E+00 ± 1.5 ^b	0.00E+00 ± 0 ^b										
10	I-Fauquet 2	7.07E+07 ± 0.31 ^c	1.33E+07 ± 0.58 ^c	0.00E+00 ± 0 ^c	1.73E+05 ± 1.1 ^b	3.67E+07 ± 2.52 ^d	9.00E+06 ± 1 ^d	3.33E+00 ± 5.77 ^b	5.73E+04 ± 1.62 ^a										
11	I-Fauquet 3	1.83E+08 ± 0.91 ^{cde}	5.93E+07 ± 0.9 ^b	0.00E+00 ± 0 ^c	6.07E+04 ± 1.1 ^b	2.99E+08 ± 0.47 ^a	7.13E+07 ± 2.32 ^{abc}	0.00E+00 ± 0 ^b	1.43E+04 ± 0.85 ^b										
12	I-Fauquet 1	6.27E+08 ± 0.61 ^{ab}	2.01E+07 ± 1.07 ^c	3.37E+02 ± 0.15 ^{abc}	1.87E+04 ± 1 ^b	2.07E+08 ± 0.34 ^{ab}	2.03E+07 ± 1 ^{cd}	3.67E+01 ± 6.35 ^{ab}	1.97E+03 ± 2.64 ^b										
13	I-Leduc 2	8.13E+08 ± 1.67 ^a	1.62E+06 ± 0.56 ^c	1.00E+01 ± 1 ^c	1.72E+05 ± 0.63 ^b	1.70E+07 ± 0.46 ^d	2.08E+06 ± 0.39 ^d	0.00E+00 ± 0 ^b	1.60E+03 ± 1.22 ^b										
14	I-Lesire 2	7.07E+07 ± 1.29 ^c	2.10E+07 ± 1.91 ^c	1.00E+01 ± 1 ^c	1.90E+04 ± 1.82 ^b	1.34E+07 ± 0.37 ^d	8.90E+06 ± 1.15 ^d	0.00E+00 ± 0 ^b	1.43E+03 ± 0.75 ^b										
15	I-Lesire 1	1.70E+08 ± 0.27 ^{cde}	8.41E+07 ± 0.93 ^a	1.65E+02 ± 2.38 ^{bc}	6.33E+04 ± 1.17 ^b	7.80E+07 ± 1.11 ^{cd}	2.73E+07 ± 0.42 ^{cd}	7.00E+01 ± 1.13 ^{ab}	0.00E+00 ± 0 ^b										
16	P (Cheeses)	< 0.0001	< 0.0001	0.105	0.013	< 0.0001	< 0.0001	0.065	< 0.0001										
17	Artisanal cheeses	2.38E+08 ± 1.35 ^b	1.57E+07 ± 1.57 ^b	4.39E+03 ± 3.63 ^a	4.30E+05 ± 10.8 ^b	1.21E+08 ± 0.98 ^a	4.45E+07 ± 4.47 ^a	1.16E+03 ± 1.27 ^a	1.55E+04 ± 1.77 ^a										
18	Industrial cheeses	3.06E+08 ± 2.68 ^a	3.41E+07 ± 3.15 ^a	3.00E+02 ± 8.12 ^b	8.94E+04 ± 9.28 ^a	1.05E+08 ± 1.06 ^a	2.68E+07 ± 2.89 ^b	1.48E+01 ± 4.55 ^b	1.16E+04 ± 1.96 ^a										
19	P (Type)	0.015	< 0.0001	< 0.0001	0.070	0.128	0.003	< 0.0001	0.289										

Line 1-15: Results expressed as mean ± standard deviation (n=3)

Line 16: Probability associated to cheese factor from ANOVA

Line 17: Mean ± standard deviation of artisanal cheeses

Line 18: Mean ± standard deviation of industrial cheeses

Line 19: Probability associated to type factor (artisanal vs. industrial) from ANOVA

Letters indicate means that significantly differ among cheeses and between types at $p < 0.05$ (Tukey test).

As reported in the Table 2, mesophilic aerobic flora and LAB were clearly the dominant micro-organisms. Briefly, the total mesophilic bacteria contents ranged between 7.00×10^7 and 8.00×10^8 for the rind and ranged between 1.30×10^7 and 3.00×10^8 for the heart. The LAB contents were between 1.60×10^6 and 5.10×10^7 for the rind and ranged between 2.10×10^6 and 1.15×10^8 for the heart. These results are in line with those reported for the Herve cheese (Delcenserie et al., 2014), the gouda-type cheese (Mankai, Boulares, Ben Moussa, Karoui, & Hassouna, 2012), the Saint-Paulin cheese (Boulares, Mankai, & Hassouna, 2011) and for the Serra da Estrela Portuguese cheese (Dahl, Tavarina, & Malcata, 2000).

As demonstrated by the significant p-value ($p < 0.05$) associated with the cheese as a factor, the 15 Maroilles cheeses were significantly different for three microbiological parameters in the rind and heart: total mesophilic bacteria ($p < 0.0001$), lactic acid bacteria ($p < 0.0001$) and the yeasts and molds ($p = 0.013$ and $p < 0.001$, respectively). The enterobacteria did not allow to discriminate among the 15 Maroilles cheeses ($p = 0.105$ and $p = 0.065$, respectively in the rind and the heart).

The microbiological content was different between both types of Maroilles (artisanal and industrial), but we could distinguish two aspects when comparing the rind or the heart. The rind of artisanal Maroilles cheeses contained less mesophilic bacteria ($M = 2.38E+08 \pm 1.35$ and $M = 3.06E+08 \pm 2.68$, respectively, $p = 0.015$) and Lactobacilli ($M = 1.57E+07 \pm 1.57$ and $M = 3.41E+07 \pm 3.15$, respectively, $p < 0.0001$) and more Enterobacteria than did industrial Maroilles cheeses ($M = 4.39E+03 \pm 3.63$ and $M = 3.00E+02 \pm 8.12$ respectively, $p < 0.001$); whereas the heart of artisanal Maroilles cheeses contained more lactic acid bacteria ($M = 4.45E+07 \pm 4.47$ and $M = 2.68E+07 \pm 2.89$, respectively, $p = 0.003$) and enterobacteria ($M = 1.16E+03 \pm 1.27$ and $M = 1.48E+01 \pm 4.55$, respectively, $p < 0.0001$) than did industrial Maroilles cheese.

The fluctuation in the enumeration of the bacteria among the different cheeses is partly due to the milk treatment before processing, the manufacturing process and the hygiene. Moreover, the superiority of total mesophilic bacteria and Lactic acid bacteria in the rind of the industrial cheeses could be explained by the washing step of the Maroilles cheese process. Indeed, such a washing is traditionally done with water and salt. Nevertheless, according to the specifications of the appellation of origin of Maroilles (Ministry of Agriculture, 2015) the addition of red ferments is allowed to obtain the rind coloration. In both types of cheeses, the yeasts and molds are quantitatively present at values ranging from about 10^4 to 10^6 . As

reported by different authors, the presence of yeasts has been associated with the secondary microflora of other variety of cheeses (Centi, Matteucci, Lepidi, Gallo, & Ercole, 2017).

As it is well known, the Enterobacteria count is an excellent indicator of the hygienic quality of a product. Elevated counts from milk and cheese indicate poor hygiene practices during milk collection and/or cheese manufacturing. Enterobacteria are generally not detected from products due to milk pasteurization. However, in this study, low counts of Enterobacteria were obtained in Maroilles manufactured with pasteurized milk. Moreover, high standard deviation for Enterobacteria was observed because only 4 cheeses out of 8 were contaminated, indicating probably a hygiene issue during manufacturing for these cheeses.

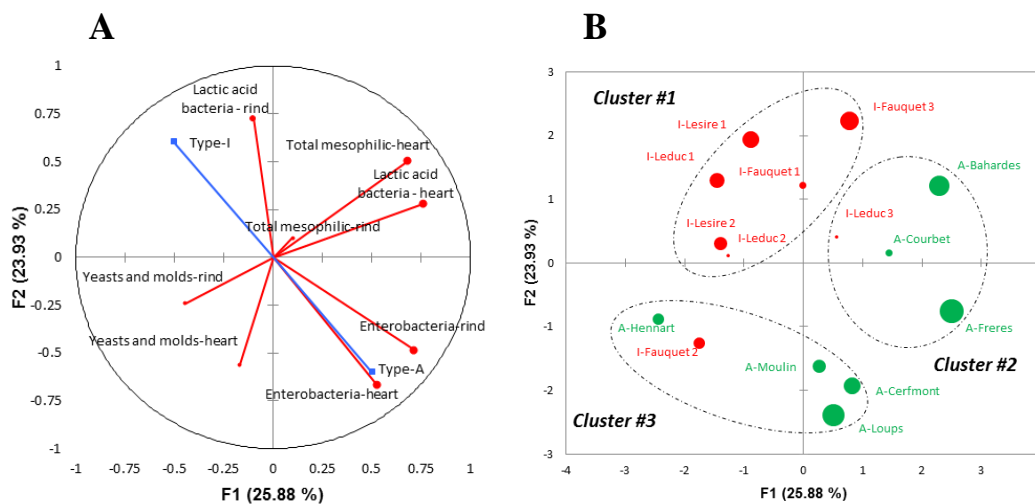


Fig 2. Principal component analysis (PCA) on the microbiological variables (A) and Maroilles cheeses (B) for dimension 1 and 2. Types of cheeses (Artisanal & Industrial) are considered as supplementary variables. The size of the dots depends on the \cos^2 .

The first two dimensions of the PCA explained 49.81% of the variance (figures 2A and 2B). Figure 2B illustrates the clustering based on the microbiological contents of Maroilles cheeses. Three clusters emerge from the PCA: the cluster #1 contains only industrial cheeses (Lesire 1, Lesire 2, Fauquet 1, Fauquet 3, Leduc 1 and Leduc 2) which are rich in Lactic acid bacteria (rind) and are poor in Enterobacteria (both in the rind and heart); the cluster #2 is composed of three artisanal cheeses (Bahardes, Courbet and Freres) and one industrial cheese (Leduc 3) which contain high value of Enterobacteria, total mesophilic bacteria and Lactic acid bacteria (heart only); the cluster #3 is composed of four artisanal cheeses (Loups, Cerfmont, Moulin and Hennart) and one industrial (Fauquet 2) which are rich in yeasts and molds and poor in total mesophilic bacteria and Lactic acid bacteria (heart). In general,

artisanal and industrial cheeses at the exception of Hennart are well differentiated by microbiological parameters, especially by the Enterobacteria content in the rind and in the heart and by the total mesophilic bacteria and Lactic acid bacteria in the heart (Figures 2A and 2B). In 2004, Feurer and colleagues reported that the bacterial diversity on the surface of the industrial soft red-smear cheese at the end of the ripening process is believed to be controlled (Feurer, Irlinger, Spinnler, Glaser, & Vallaeys, 2004). Conversely, the bacterial flora of a traditional production is expected to be much more diverse and variable.

3.3. Chemical analysis

Table 3. Chemical parameters of the 15 Maroilles cheeses

N°	Cheeses	Protein %	pH	Ash %	Fat %	Moisture %	a _w rind	a _w Heart	Ca (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Na (mg/kg)	K (mg/kg)	Mg (mg/kg)	Cd (mg/kg)
1	A-Bahardes	20.72 ± 0.25 ^{de}	5.41 ± 0.06 ^b	2.73 ± 0.03 ^e	27.5 ± 0.5 ^{def}	47.5 ± 0.38 ^{cd}	0.943 ± 0.004 ^a	0.948 ± 0.004 ^{ab}	3582.26 ± 163.44 ^{bd}	18.91 ± 1.36 ^{efg}	0.71 ± 0.01 ^{abcd}	0.56 ± 0.03 ^{defg}	12150.08 ± 419.25 ^a	1063.25 ± 23.64 ^{ab}	127.8 ± 1 ^{cde}	0.04 ± 0.05 ^a
2	A-Cerfmont	20.03 ± 0.19 ^{fg}	5.15 ± 0.11 ^{cd}	2.94 ± 0.08 ^{cd}	27.67 ± 0.29 ^{de}	47.55 ± 0.37 ^{cd}	0.929 ± 0.003 ^{ab}	0.93 ± 0.002 ^{de}	4855.94 ± 125.25 ^a	18.62 ± 1.18 ^{efg}	0.81 ± 0.03 ^{abc}	0.49 ± 0.01 ^{fgh}	13027.83 ± 389.67 ^a	1149.05 ± 13.45 ^a	157.47 ± 5.18 ^a	0.01 ± 0.01 ^a
3	A-Courbet	21.61 ± 0.17 ^c	5.06 ± 0.03 ^{cd}	2.46 ± 0.03 ^f	29.5 ± 0.5 ^{ab}	42.89 ± 0.08 ^e	0.946 ± 0.006 ^{bc}	0.957 ± 0.001 ^a	4311.26 ± 583.49 ^{ab}	21.95 ± 1.66 ^{bcd}	0.71 ± 0.03 ^{abcd}	0.7 ± 0.05 ^h	5748.71 ± 205.59 ^f	905.7 ± 19.80 ^{cd}	85.21 ± 0.54 ^g	0.02 ± 0.01 ^a
4	A-Fretes	20.63 ± 0.36 ^{def}	5.93 ± 0.02 ^a	2.45 ± 0.07 ^f	29.67 ± 0.29 ^{ab}	46.38 ± 0.35 ^{ef}	0.912 ± 0.001 ^{bc}	0.918 ± 0.003 ^{gh}	1785.48 ± 84.84 ^f	19.04 ± 0.95 ^{efg}	0.85 ± 0.06 ^{ab}	0.38 ± 0.03 ^h	8001.42 ± 470.83 ^{de}	950.21 ± 40.12 ^{bd}	85.18 ± 4.68 ^g	0.01 ± 0.01 ^a
5	A-Hennart	21.14 ^{cd}	5.17 ± 0.02 ^{cd}	2.81 ± 0.05 ^{de}	30.17 ± 0.29 ^a	42.77 ± 0.51 ^f	0.92 ± 0.005 ^{bc}	0.92 ± 0.001 ^{fgh}	3769.25 ± 49.84 ^{bd}	26 ± 0.47 ^{ab}	0.73 ± 0.01 ^{abcd}	0.78 ± 0.05 ^b	7273.5 ± 516.15 ^{def}	765.69 ± 28.51 ^e	119.05 ± 3.98 ^{def}	0.03 ± 0.05 ^a
6	A-Moulin	19.99 ± 0.28 ^{ef}	5.12 ± 0.07 ^{cd}	2.68 ± 0.07 ^e	27.17 ± 0.29 ^{cd}	49.75 ± 0.29 ^a	0.929 ± 0.001 ^{cd}	0.946 ± 0.002 ^b	2775.56 ± 97.16 ^e	16.05 ± 1.91 ^g	0.86 ± 0.06 ^a	0.54 ± 0.06 ^{efg}	10316.63 ± 430.83 ^{bc}	996.78 ± 38.58 ^{bc}	117.95 ± 1.93 ^{ef}	0.02 ± 0.01 ^a
7	A-Loups	20.16 ± 0.19 ^{efg}	5.12 ± 0.09 ^{cd}	2.79 ± 0.04 ^{de}	28.17 ± 0.29 ^{de}	48.7 ± 0.18 ^b	0.934 ± 0.002 ^{cd}	0.944 ± 0.003 ^b	3749.85 ± 315.35 ^{bd}	20.86 ± 1.45 ^{abc}	0.84 ± 0.13 ^{ab}	1.07 ± 0.01 ^a	7243.21 ± 433.76 ^{ef}	920.01 ± 14.72 ^{cd}	74.89 ± 4.45 ^g	0.05 ± 0.03 ^a
8	I-Leduc 3	21.1 ± 0.15 ^{cd}	5.14 ± 0.04 ^{cd}	2.93 ± 0.07 ^{cd}	27.67 ± 0.29 ^{de}	46.98 ± 0.19 ^{de}	0.926 ± 0.002 ^{ef}	0.932 ± 0.001 ^d	3733.72 ± 246.81 ^{bd}	24.72 ± 1.03 ^{abc}	0.59 ± 0.05 ^{def}	0.63 ± 0.02 ^{bcdef}	8097.89 ± 101.93 ^{de}	919.27 ± 40.36 ^{cd}	133.86 ± 4.57 ^{bc}	0.04 ± 0.01 ^a
9	I-Leduc 1	22.33 ± 0.23 ^b	5.01 ± 0.08 ^d	3.29 ± 0.04 ^a	25.5 ± 0.5 ^{gh}	48.16 ± 0.25 ^{bc}	0.915 ± 0.003 ^{cde}	0.949 ± 0.005 ^{ab}	3760.44 ± 218.13 ^{bd}	26.87 ± 1.28 ^a	0.81 ± 0.04 ^{abc}	0.53 ± 0.01 ^{efg}	8795.72 ± 248.14 ^{cd}	1015.33 ± 35.29 ^{bc}	161.72 ± 1.57 ^a	0.02 ± 0.02 ^a
10	I-Fanquet 2	21.37 ± 0.11 ^c	5.16 ± 0.09 ^{cd}	3 ± 0.05 ^{bc}	24.5 ± 0.5 ^h	49.99 ± 0.37 ^a	0.935 ± 0.002 ^{cde}	0.928 ± 0.005 ^{def}	3174.53 ± 225.5 ^{de}	17.1 ± 1.14 ^{fg}	0.47 ± 0.06 ^f	0.59 ± 0.12 ^{def}	10342.53 ± 374.93 ^{bc}	1051.3 ± 21.01 ^{ab}	144.02 ± 3.32 ^b	0.07 ± 0.09 ^a
11	I-Fanquet 3	21.03 ± 0.14 ^{cd}	5.17 ± 0.02 ^{cd}	2.95 ± 0.04 ^{cd}	26.33 ± 0.58 ^{fg}	48.84 ± 0.07 ^b	0.918 ± 0.005 ^{def}	0.913 ± 0.004 ^h	4022.87 ± 109.78 ^{bc}	19.11 ± 1.45 ^{efg}	0.51 ± 0.03 ^{ef}	0.51 ± 0.07 ^{efgh}	10549 ± 648.86 ^b	1038.19 ± 69.39 ^{ab}	116.5 ± 1.79 ^{ef}	0 ± 0 ^a
12	I-Fanquet 1	21.53 ± 0.14 ^c	5.26 ± 0.07 ^{cd}	2.91 ± 0.07 ^{bc}	24.33 ± 0.58 ^h	49.91 ± 0.23 ^a	0.916 ± 0.005 ^{ef}	0.922 ± 0.002 ^{efg}	3384.58 ± 224.68 ^{cde}	16.75 ± 0.51 ^{fg}	0.68 ± 0.06 ^{bcd}	1.11 ± 0.02 ^a	10180.2 ± 685.26 ^{bc}	990.44 ± 39.95 ^{bc}	127.4 ± 2.38 ^{cde}	0.11 ± 0.04 ^a
13	I-Leduc 2	23.16 ± 0.15 ^a	5 ± 0.04 ^d	3 ± 0.02 ^{bc}	29 ± 0.5 ^{abc}	43.5 ± 0.41 ^f	0.926 ± 0.001 ^{cd}	0.934 ± 0.002 ^{cd}	3798.37 ± 349.59 ^{bd}	24.45 ± 1.81 ^{abcd}	0.88 ± 0.07 ^a	0.64 ± 0.06 ^{bcd}	8810.57 ± 423.28 ^{cd}	854.94 ± 45.14 ^{de}	129.13 ± 4.78 ^{cd}	0.05 ± 0.03 ^a
14	I-Lesire 2	19.65 ± 0.11 ^g	5.07 ± 0.03 ^{cd}	3.13 ± 0.04 ^{ab}	28.67 ± 0.29 ^{bd}	45.98 ± 0.18 ^f	0.928 ± 0.003 ^f	0.941 ± 0.003 ^{bc}	3833.72 ± 257.99 ^{bd}	18.91 ± 1.11 ^{efg}	0.65 ± 0.03 ^{cde}	0.73 ± 0.02 ^{bc}	9676.12 ± 1067.64 ^{bc}	971.52 ± 59.73 ^{bc}	126.74 ± 5.5 ^{def}	0.06 ± 0.03 ^a
15	I-Lesire 1	19.68 ± 0.11 ^g	4.98 ± 0.05 ^d	3.01 ± 0.08 ^{bc}	28.17 ± 0.29 ^{cd}	48.06 ± 0.26 ^{bc}	0.934 ± 0.002 ^f	0.947 ± 0.004 ^b	3884.12 ± 172.47 ^{bd}	19.96 ± 3.22 ^{defg}	0.74 ± 0.08 ^{abcd}	0.43 ± 0.05 ^{gh}	7838.23 ± 576.59 ^{de}	856.99 ± 28.52 ^{de}	132.5 ± 1.71 ^c	0.06 ± 0.1 ^a
16	p (Cheeses)	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	0.451
17	Artisanal cheeses	20.61 ± 0.61 ^b	5.28 ± 0.3 ^a	2.70 ± 0.18 ^b	28.55 ± 1.18 ^a	46.51 ± 2.6 ^b	0.930 ± 0.012 ^a	0.938 ± 0.014 ^a	3547.08 ± 981.44 ^a	20.20 ± 3.2 ^a	0.79 ± 0.08 ^a	0.65 ± 0.22 ^a	9108.77 ± 2634.01 ^a	964.38 ± 118.44 ^a	109.65 ± 28.03 ^b	0.02 ± 0.03 ^a
18	Industrial cheeses	21.23 ± 1.15 ^a	5.10 ± 0.1 ^b	3.03 ± 0.12 ^a	26.77 ± 1.82 ^b	47.6 ± 2.08 ^a	0.925 ± 0.008 ^b	0.933 ± 0.012 ^b	3699.04 ± 330.95 ^a	20.98 ± 3.9 ^a	0.67 ± 0.14 ^b	0.65 ± 0.21 ^a	9286.28 ± 1111.62 ^a	962.25 ± 82.83 ^a	133.99 ± 13.33 ^a	0.05 ± 0.05 ^a
19	p (Type)	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	0.051	0.094	< 0.0001	0.947	0.258	0.851	< 0.0001	0.050

Line 1-15: Results expressed as mean ± standard deviation (n=3)

Line 16: Probability associated to cheese factor from ANOVA

Line 17: Mean ± standard deviation of artisanal cheeses

Line 18: Mean ± standard deviation of industrial cheeses

Line 19: Probability associated to type factor (artisanal vs. industrial) from ANOVA

Letters indicate means that significantly differ among cheeses and between types at p< 0.05 (Tukey test).

Table 3 summarizes the results of chemical parameters of all the analyzed cheeses. The data are reported as mean \pm SD and are not described in details but interpreted in regards to each parameter and type of cheese and accordingly to p-values. First of all, the Pb contents (data not shown) are below the detection level ($<0.002 \mu\text{g}/\text{kg}$). Secondly, regardless of the chemical parameters, the 15 Maroilles cheeses are significantly different ($p < 0.0001$) except for the Cd amount ($p = 0.451$).

The discrimination of Maroilles types according to some chemical parameters was relatively easy. Indeed, the artisanal and industrial cheeses could be differentiated, as demonstrated by the $p < 0.0001$, by the protein % ($M = 20.61 \pm 0.61$ for artisanal and $M = 21.23 \pm 1.15$ for industrial Maroilles), the pH ($M = 5.28 \pm 0.3$ and $M = 5.10 \pm 0.1$ for artisanal and industrial Maroilles respectively), the ash % ($M = 2.70 \pm 0.18$ for artisanal and $M = 3.03 \pm 0.12$ for industrial Maroilles), the fat ($M = 28.55 \pm 1.18$ for artisanal and $M = 26.77 \pm 1.82$ for industrial Maroilles), the moisture % ($M = 46.51 \pm 2.6$ for artisanal and $M = 47.6 \pm 2.08$ for industrial Maroilles) and the a_w ($M_{\text{rind}} = 0.930 \pm 0.012$, $M_{\text{heart}} = 0.938 \pm 0.014$ for artisanal and $M_{\text{rind}} = 0.925 \pm 0.08$, $M_{\text{heart}} = 0.933 \pm 0.012$ for industrial Maroilles). In contrast, practically no mineral elements, except Fe ($M = 0.79 \pm 0.08$ for artisanal and $M = 0.67 \pm 0.14$ for industrial Maroilles) and Mg ($M = 109.65 \pm 28.03$ for artisanal and $M = 133.99 \pm 13.33$ for industrial Maroilles) amounts allowed us to discriminate the artisanal and the industrial Maroilles cheeses. Our results are in agreement with previous studies reporting that artisanal smear-ripened cheeses have higher pH value likely because the pH increases during ripening (Brennan et al., 2002). Likewise, as shown by Monet, Back & Irlinger (2012), the fat content (whole fat), a_w and Fe content are higher in artisanal Maroilles than in industrial Maroilles, leading to a stimulation of the growth of ripening bacteria belonging to the genera *Arthrobacter*, *Corynebacterium* and *Brevibacterium*. Concerning a_w , our mean values range from 0.91 to 0.94. This a_w is an important indicator of the microbiological growth and many degradative reactions crucial for the stability and safety of cheeses (Fennema, 1996). The a_w values decrease to 0.86-0.96 as ripening progresses (Ozmen Togay, Guneser, & Karagul Yuceer, 2017). This a_w decrease has been observed in a variety of cheeses such as Valdeon cheese (Diezhandino, Fernández, González, McSweeney, & Fresno, 2015), Cabrales (Flórez & Mayo, 2006) and Babia-laciana goat cheese (Franco, Prieto, Bernardo, Prieto, & Carballo, 2003).

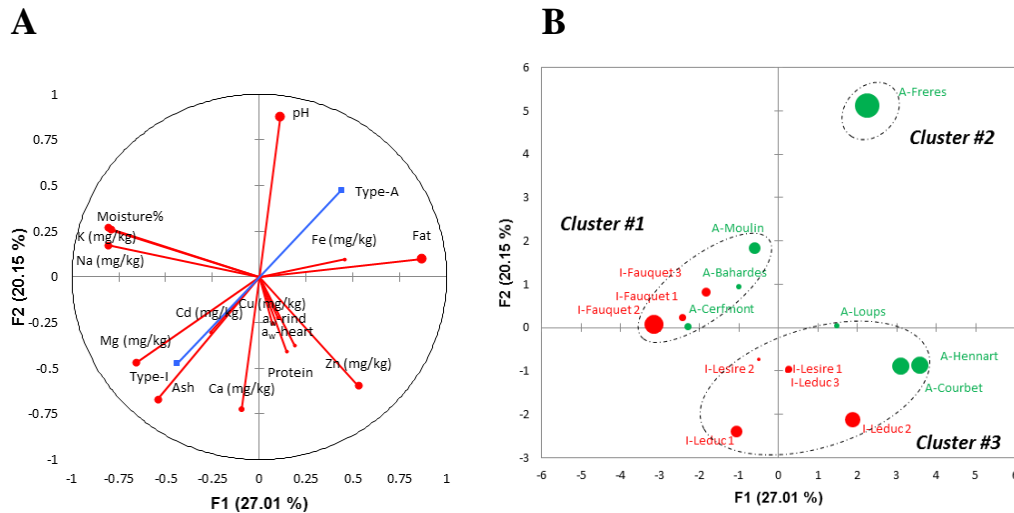


Fig 3. Principal component analysis (PCA) of the chemical composition analysis (A) and Maroilles cheeses (B) for dimension 1 and 2. Type of cheeses (Artisanal & Industrial) are considered as supplementary variables. The size of the dots depends on the \cos^2 .

As shown in Figures 3A and 3B, the first two dimensions of the PCA of all chemical parameters explained 47.16% of the variance. Three clusters of Maroilles cheeses appeared (Fig 3B): the cluster #1 composed of three industrial cheeses (Fauquet 1, Fauquet 2 and Fauquet 3) and three artisanal cheeses (Moulin, Bahardes and Cerfmont) which contains high amounts of moisture, K and Na but are poor in fat; the cluster #2 contains only one artisanal cheese (Freres) which has a high pH and the cluster #3 encompassing three artisanal cheeses (Loups, Hennart and Courbet) and five industrial cheeses (Leduc 1, Leduc 2, Leduc 3, Lesire 1 and Lesire 2) which contain high amounts of ash, Ca and Zn and have a low pH (Figure 3A and 3B). Interestingly, the chemical parameters group categorized three cheeses of the same industrial producer in two different clusters (Fauquet in cluster #1 and Leduc and Lesire in cluster #3), indicating special features due to the own skill of each manufacturer.

3.4. Texture analysis: penetration test

Table 4. Texture analysis of 15 Maroilles cheeses (Kg.s⁻¹)

N°	Cheeses	Hardness	Adhesiveness	Hardness	Adhesiveness
		20%		80%	
1	A-Bahardes	0.26 ± 0.01 ^f	-0.11 ± 0.02 ^{abc}	0.9 ± 0.01 ^{gh}	-0.56 ± 0.02 ^{abc}
2	A-Cerfmont	0.76 ± 0.03 ^c	-0.24 ± 0.01 ^f	2.39 ± 0.13 ^{bc}	-0.74 ± 0.02 ^{cde}
3	A-Courbet	1.26 ± 0.01 ^a	-0.26 ± 0.03 ^f	1.94 ± 0.11 ^d	-1.17 ± 0.02 ^{fgh}
4	A-Freres	0.49 ± 0.01 ^e	-0.08 ± 0 ^{ab}	0.66 ± 0.08 ^h	-0.37 ± 0.02 ^a
5	A-Hennart	0.83 ± 0.06 ^{bc}	-0.26 ± 0.03 ^f	1.64 ± 0.1 ^{de}	-0.98 ± 0.09 ^{efg}
6	A-Moulin	0.3 ± 0.03 ^f	-0.08 ± 0.01 ^a	0.78 ± 0.07 ^{gh}	-0.43 ± 0.03 ^{ab}
7	A-Loups	0.46 ± 0.02 ^e	-0.16 ± 0.03 ^{cde}	1.76 ± 0.03 ^{de}	-0.93 ± 0.01 ^{def}
8	I-Leduc 3	0.6 ± 0.03 ^d	-0.21 ± 0.01 ^{def}	2.46 ± 0.19 ^b	-1.44 ± 0.18 ⁱ
9	I-Leduc 1	0.62 ± 0.04 ^d	-0.22 ± 0.02 ^{ef}	2.52 ± 0.2 ^b	-1.34 ± 0.13 ^{hi}
10	I-Fauquet 2	0.42 ± 0.04 ^e	-0.25 ± 0.03 ^f	1.4 ± 0.11 ^{ef}	-0.67 ± 0.04 ^{bcd}
11	I-Fauquet 3	0.24 ± 0.03 ^f	-0.1 ± 0.03 ^{abc}	1.05 ± 0.05 ^{fgh}	-0.48 ± 0.05 ^{abc}
12	I-Fauquet 1	0.44 ± 0.02 ^e	-0.15 ± 0.04 ^{bcd}	1.13 ± 0.05 ^{fg}	-0.45 ± 0.04 ^{ab}
13	I-Leduc 2	0.91 ± 0.02 ^b	-0.38 ± 0.03 ^g	3.12 ± 0.35 ^a	-1.76 ± 0.11 ^j
14	I-Lesire 2	0.76 ± 0.03 ^c	-0.28 ± 0.02 ^f	1.82 ± 0.27 ^{de}	-1.22 ± 0.16 ^{ghi}
15	I-Lesire 1	0.75 ± 0.05 ^c	-0.24 ± 0.02 ^f	1.97 ± 0.06 ^{cd}	-0.88 ± 0.1 ^{de}
16	P (Cheeses)	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001
17	Artisanal cheeses	0.62 ± 0.39 ^a	-0.17 ± 0.08 ^a	1.44 ± 0.63 ^a	-0.74 ± 0.28 ^a
18	Industrial cheeses	0.59 ± 0.21 ^b	-0.23 ± 0.08 ^a	1.93 ± 0.72 ^a	-1.03 ± 0.47 ^b
19	P (Type)	0.004	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001

Line 1-15: Results expressed as mean ± standard deviation (n=3)

Line 16: Probability associated to cheese factor from ANOVA

Line 17: Mean ± standard deviation of artisanal cheeses

Line 18: Mean ± standard deviation of industrial cheeses

Line 19: Probability associated to type factor (artisanal vs. industrial) from ANOVA

Letters indicate means that significantly differ among cheeses and between types at $p < 0.05$ (Tukey test).

As previously reported, cheese composition plays an important role in rheological and textural properties (Verdini & Rubiolo, 2002). Therefore, all cheeses have been subjected to a penetration test as detailed in the material and method section. Table 4 summarizes the obtained results on hardness (positive value) and adhesiveness (negative value) measured with application forces of 20% and 80%. Individually, regardless of the applied force, hardness and adhesiveness significantly discriminate (p -values < 0.0001) the 15 cheeses, highlighting a

great texture variability among the cheeses. Moreover, adhesiveness absolute values at 20% and 80% were significantly higher for industrial cheeses ($M = -0.23 \pm 0.08$ and $M = -1.03 \pm 0.47$, respectively) than those for the artisanal cheeses ($M = -0.17 \pm 0.08$ and $M = -0.74 \pm 0.28$, respectively). Concerning, the hardness, different results are obtained in the rind and in the heart: the heart of industrial Maroilles is harder than that of artisanal Maroilles ($M = 1.93 \pm 0.72$ and $M = 1.44 \pm 0.63$, respectively, $p < 0.0001$) whereas the rind is firmer in artisanal cheese than that of the industrial cheeses ($M = 0.62 \pm 0.39$ and $M = 0.59 \pm 0.21$, respectively, $p = 0.004$). Given that ripening time of the artisanal Maroilles is longer than that of industrial Maroilles, our results are in agreement with previous works where the rind firmness of brie-type cheese increases with the ripening time, whereas the heart of industrial cheeses is harder than that of artisanal cheeses (Champagne, Soullignac, Marcotte, & Innocent, 2003).

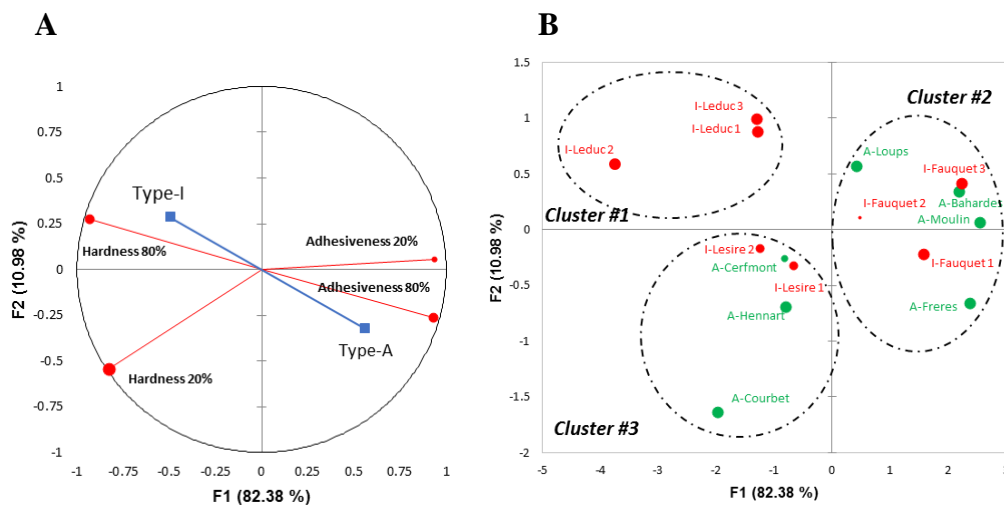


Fig 4. Principal component analysis (PCA) of the texture analysis (A) and Maroilles cheeses (B) for dimension 1 and 2. Type of cheeses (Artisanal & Industrial) are considered as supplementary variables. The size of the dots depends on the \cos^2 .

The PCA corresponding to values obtained from the penetration test are depicted in figures 4A and 4B. The first two dimensions of the PCA explained 93.36% of the variance. The PCA map (Fig 4B) highlights three clusters of Maroilles cheeses: the cluster #1 gathering the three industrial cheeses from Leduc (Leduc 1, Leduc 2 and Leduc 3) and is characterized by a hard heart and a low adhesiveness, the cluster #2 contains four artisanal cheeses (Bahardes, Loup, Freres and Moulin) and the three Fauquet's industrial cheeses (Fauquet 1, Fauquet 2 and Fauquet 3) which appear as not hard but sticky and the cluster #3 composed of two industrial cheeses (Lesire 1 and Lesire 2) and three artisanal cheeses (Courbet, Hennart and Cerfmont) with a hard rind (Figures 4A and 4B). Interestingly, once again, the textural parameters

grouped under different clusters chesses from the same producer, indicating a specific skill of the manufacturer.

3.5. Color analysis

Table 5. Color analysis of 15 Maroilles cheeses

N°	Cheeses	L*	a*	b*	L*	a*	b*
		<i>rind</i>			<i>heart</i>		
1	A-Bahardes	71.96 ± 0.23 ^c	4.27 ± 0.09 ^h	19.28 ± 0.17 ^c	77.39 ± 0.03 ^c	-0.83 ± 0.01 ^g	8.02 ± 0.1 ^h
2	A-Cerfmont	72.61 ± 0.02 ^b	3.68 ± 0.03 ⁱ	18.09 ± 0.04 ^d	77.74 ± 0.05 ^c	0.24 ± 0.05 ^c	10.1 ± 0.08 ^f
3	A-Courbet	67.51 ± 0.24 ^g	3.6 ± 0.03 ⁱ	14.22 ± 0.05 ^g	79.96 ± 0.19 ^b	1.39 ± 0.06 ^a	15.82 ± 0.03 ^a
4	A-Freres	66.44 ± 0.04 ⁱ	6.71 ± 0.02 ^e	18.03 ± 0.05 ^d	75.87 ± 0.04 ^d	0.03 ± 0.02 ^d	12.29 ± 0.04 ^{bc}
5	A-Hennart	76.47 ± 0.3 ^a	0.66 ± 0.02 ^k	12.21 ± 0.04 ^h	73.93 ± 0.01 ^f	0.89 ± 0.03 ^b	15.97 ± 0.04 ^a
6	A-Moulin	68.79 ± 0.05 ^{ef}	4.55 ± 0.08 ^g	20.23 ± 0.04 ^b	76.11 ± 0.14 ^d	0.1 ± 0.01 ^d	12.07 ± 0.03 ^c
7	A-Loups	68.84 ± 0.02 ^{ef}	5.29 ± 0.06 ^f	17.15 ± 0.11 ^e	79.73 ± 0.13 ^b	0.24 ± 0.02 ^c	11.06 ± 0.04 ^e
8	I-Leduc 3	67.88 ± 0.15 ^g	9.74 ± 0.19 ^b	18.11 ± 0.1 ^d	74.87 ± 0.08 ^e	-1.11 ± 0.03 ^h	9.37 ± 0.05 ^g
9	I-Leduc 1	69.67 ± 0.04 ^d	8.69 ± 0.05 ^d	20.06 ± 0.04 ^b	76.04 ± 0.04 ^d	0.25 ± 0.03 ^c	10.97 ± 0.13 ^e
10	I-Fauquet 2	72.77 ± 0.03 ^b	1.83 ± 0.02 ^j	20.66 ± 0.05 ^a	76.37 ± 0.4 ^d	0.08 ± 0.05 ^d	9.97 ± 0.19 ^f
11	I-Fauquet 3	68.54 ± 0.19 ^f	9 ± 0.07 ^c	20.71 ± 0.13 ^a	77.77 ± 0.18 ^c	-0.64 ± 0.02 ^f	11.57 ± 0.03 ^d
12	I-Fauquet 1	66.68 ± 0.11 ^{hi}	8.49 ± 0.02 ^d	17.89 ± 0.07 ^d	80.77 ± 0.14 ^a	-0.49 ± 0 ^e	12.54 ± 0.03 ^b
13	I-Leduc 2	66.88 ± 0.02 ^h	9.68 ± 0.03 ^b	16.4 ± 0.03 ^f	77.44 ± 0.25 ^c	-0.78 ± 0.03 ^g	11.67 ± 0.04 ^d
14	I-Lesire 2	69.06 ± 0.15 ^e	9.13 ± 0.07 ^c	19.36 ± 0.24 ^c	80.65 ± 0.33 ^a	-0.56 ± 0.03 ^{ef}	12.41 ± 0.18 ^b
15	I-Lesire 1	68.88 ± 0.11 ^{ef}	12.44 ± 0.09 ^a	19.45 ± 0.03 ^c	75.15 ± 0.06 ^e	-0.49 ± 0.01 ^e	9.99 ± 0.01 ^f
16	P (Cheeses)	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001
17	Artisanal cheeses	70.37 ± 3.32 ^a	4.11 ± 1.77 ^b	17.03 ± 2.7 ^b	77.25 ± 2.05 ^b	0.29 ± 0.66 ^a	12.19 ± 2.75 ^a
18	Industrial cheeses	68.80 ± 2.72 ^b	8.63 ± 2.88 ^a	19.08 ± 1.44 ^a	77.38 ± 2.19 ^a	-0.47 ± 0.42 ^b	11.06 ± 1.14 ^b
19	P (Type)	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	0.016	< 0.0001	< 0.0001

Line 1-15: Results expressed as mean ± standard deviation (n=3)

Line 16: Probability associated to cheese factor from ANOVA

Line 17: Mean ± standard deviation of artisanal cheeses

Line 18: Mean ± standard deviation of industrial cheeses

Line 19: Probability associated to type factor (artisanal vs. industrial) from ANOVA

Letters indicate means that significantly differ among cheeses and between types at $p < 0.05$ (Tukey test).

The color of a product is very important in food and especially in cheese because it is the main factor for the selection of a product and the consumer acceptability (Magenis et al.,

2014; Mathias-Rettig & Ah-Hen, 2014). The color of cheeses is due to the dispersal of light caused by casein micelles, fat globules and colloidal calcium phosphate. The carotene and riboflavin contribute also to this effect (Mortensen, Bertelsen, Mortensen, & Stapelfeldt, 2004; Sandoval-Copado, Orozco-Villafuerte, Pedrero-Fuehrer, & Colín-Cruz, 2016). The lightness (L^*), the red-green (a^*) and the blue-yellow (b^*) dimensions were measured for the rind and the heart for all Maroilles cheeses and the results are summarized in Table 5.

Concerning the color measured by L^* , a^* and b^* parameters in the rind and the heart, the 15 Maroilles cheeses were significantly different as indicated by the p -values < 0.0001 . Our results corroborate the color heterogeneity observed in a PDO Munster produced in Eastern France (Dufossé et al., 2005). L^* parameter indicates the lightness and the capacity of an object to either reflect or transmit the light. The present results for the L^* parameter were lower than those reported by Fritzen-Freire et al. and Magenis et al. for the Minas Frescal cheeses (Fritzen-Freire, Müller, Laurindo, Amboni, & Prudêncio, 2010; Magenis et al., 2014), by Copado et al., for the Oaxaca cheese (Sandoval-Copado et al., 2016) and by Togay and colleagues for goat cheeses manufactured in the Çanakkale province in Turkey (Ozmen Togay et al., 2017).

The rind of industrial cheeses have higher value of a^* ($M=8.63 \pm 2.88$ and $M= 4.11 \pm 1.77$, respectively for industrial and artisanal cheeses, $p<0.001$) and b^* ($M=19.08 \pm 1.44$ and $M=17.03 \pm 2.7$, respectively for industrial and artisanal cheeses, $p<0.0001$) and lower value of L^* ($M=68.80 \pm 2.72$ and $M=70.37 \pm 3.32$, respectively for industrial and artisanal cheeses, $p<0.0001$) than rind of artisanal cheeses. In summary this means that the rind of industrial cheeses is more orange and darker than the rind of artisanal cheeses, due probably to washings with the red ferments of Maroilles. Rind coloration is a complex process involving physical, chemical factors and microbiological interactions (Galaup, Flamin, Carlet, & Dufossé, 2005; Galaup et al., 2007, 2015). Moreover, the color of the rind may also result from bacterial interactions (Bockelmann, Willems, Neve, & Heller, 2005; Brennan et al., 2002; Leclercq-Perlat & Spinnler, 2010), as well as interactions between bacteria and yeasts (Leclercq-Perlat, Corrieu, & Spinnler, 2004). It is noteworthy to note that industrial manufacturers may sometimes encounter quality problems because the pigmentation based on the sole microflora ripening is not sufficient to give a nice color. In this case, colorants such as annatto, paprika or β -carotene are spread over the surface of the cheese during processing, as a way to produce attractive cheese's color (Dufossé et al., 2005). Nevertheless, in our study, the presence of colorant has not been assessed and does not allow to interpret our data

accordingly. The heart of artisanal cheeses is redder a^* ($M=0.29 \pm 0.66$ and $M= -0.47 \pm 0.42$, $p<0.0001$) and more yellow b^* ($M=12.19 \pm 2.75$ and $M=11.06 \pm 1.14$, $p<0.0001$) than the heart of industrial cheeses. Given that artisanal Maroilles undergo a longer maturation time compared to industrial Maroilles, these results are in agreement with previous works where the authors described a slight increase in redness (a^*) and yellowness (b^*) with the maturation time while the lightness decreased (Fresno & Álvarez, 2012; Pinho, Mendes, Alves, & Ferreira, 2004).

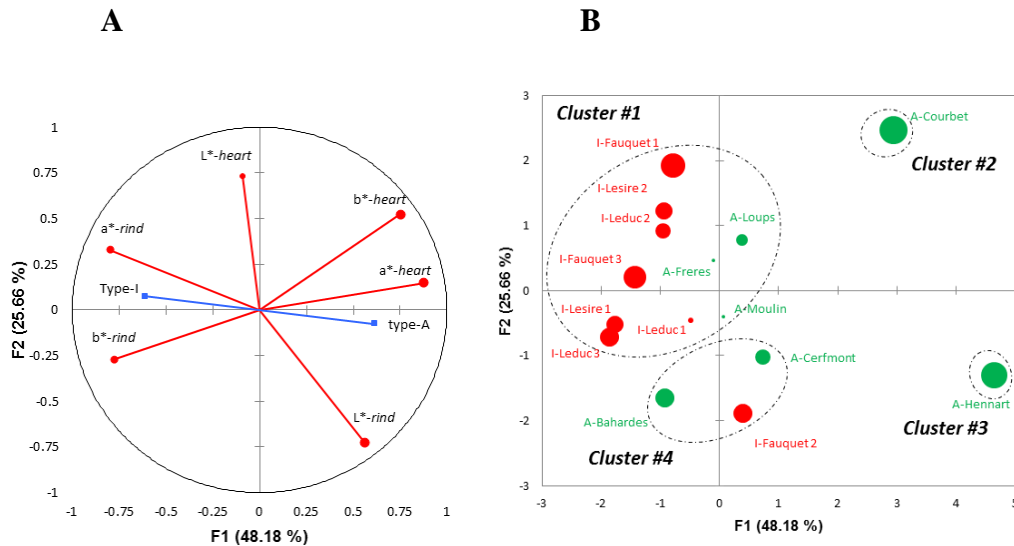


Fig 5. Principal component analysis (PCA) of the color analysis (A) and Maroilles cheeses (B) for dimension 1 and 2. Type of cheeses (Artisanal & Industrial) are considered as supplementary variables. The size of the dots depends on the \cos^2 .

The first two dimensions of the PCA performed using the color parameters explained 73.8% of the variance (Fig 5A and 5B). Figure 5B illustrates the four clusters of Maroilles cheeses resulting of this PCA: the cluster #1 gathers seven industrial cheeses (Fauquet 1, Fauquet 3, Lesire 1, Lesire 2, Leduc 1, Leduc 2 and Leduc 3) and three artisanal cheeses (Moulin, Freres and Loups) which have an orange rind and a pale core; the cluster #2 contains only one artisanal Maroilles (Courbet) which has a yellow core; in the same way, the cluster #3 is composed of only one artisanal Maroilles (Hennart) which displays a light rind and a red/yellow core and, finally, the cluster #4 contains two artisanal Maroilles (Bahardes and Cerfmont) and one industrial cheese (Fauquet 2) which have a light rind (Figures 5A and 5B). This color variability has also been observed for different PDO red-smear soft cheeses (Epoisses, Munster, Maroilles, Livarot, Limburger or Tilsit) as reported by Dufossé et al. (2005).

3.6. Sensory, microbiological, chemical, textural and color analysis relationships

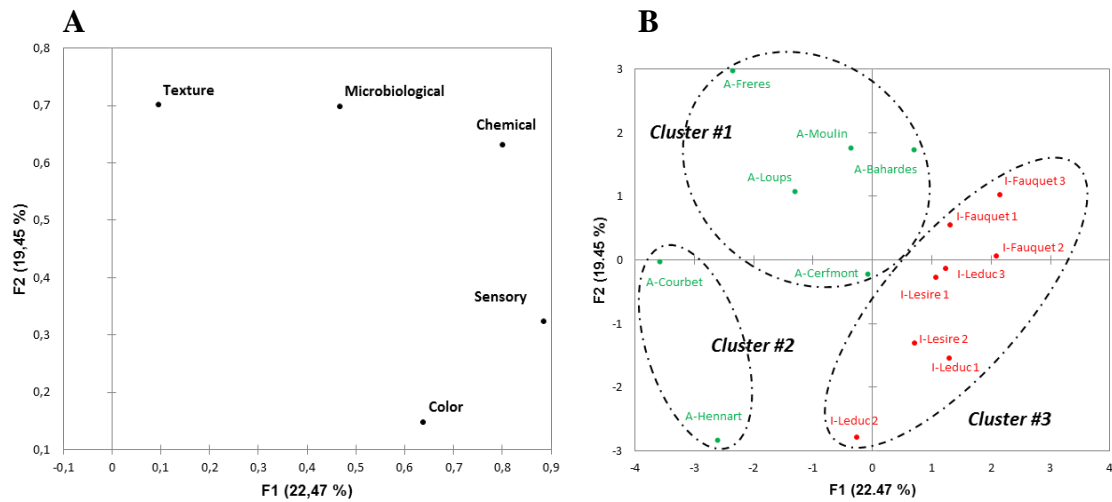


Fig 6. Multiple factors analysis (MFA) of the sensory, microbiological, chemical, textural and color analyses (A) and Maroilles cheeses (B) for dimensions 1 and 2.

At the end, we have performed a MFA using the sensory, microbiological, chemical and textural parameters evaluated in this study. Figure 6 presents the first two dimensions of the MFA explaining 41.9% of the variance. As shown in Fig 6A, the projections of chemical, sensory and color parameters on the dimension 1 are opposed to the projection of the texture, the microbiological projection being at an intermediate position. The dimension 2 opposes the microbiological, texture and chemical projections to the color projection while the sensory projection went into an intermediate position. The chemical parameters and to a lesser extent the color parameters are the closest to the sensory parameters ($RV_{chemical-sensory}=0.471$ and $RV_{color-sensory}=0.337$). So, we can assume that chemical and color parameters are the closest to the consumer perception. In other words, to evaluate Maroilles consumers based their judgment on color and taste characteristics of cheeses. This claim is supported by the descriptions obtained with the sensory analysis.

Finally, as shown on figure 6B, three clusters emerge from the MFA: the cluster #1 gathers five artisanal cheeses (Freres, Moulin, Loups, Bahardes and Cerfmont); the cluster #2 gathers two artisanal cheeses (Courbet and Hennart) and the cluster #3 gathers all the industrial cheeses. Taken together, these five sets of analyses combined in a MFA allow to significantly discriminate the artisanal cheeses from the industrial cheeses. Few publications have already reported such relevant differences related to microbiological and sensorial parameters in

commercial samples of Minas Frescal cheese (Magenis et al., 2014; Rocha et al., 2006; Visotto et al., 2011) and related the chemical parameters in parmesan type cheeses (Jaster et al., 2014). This discrepancy is due to differences of chemical composition of the raw material (raw or pasteurized milk) or of some specific manufacturing parameters (Brighenti, Govindasamy-Lucey, Lim, Nelson, & Lucey, 2008).

4. Conclusions

The statistical analyses of data sets demonstrate that **i)** almost all microbiological parameters (except Enterobacteria rate in the rind), **ii)** almost all chemicals (except Cd rate), **iii)** all penetration test parameters and **iv)** all color parameters allow to significantly discriminate in-between cheeses. Interestingly, the artisanal and industrial Maroilles differ by **i)** their microbiological contents both in the rind and in the heart (total mesophile flora, rate of lactobacillus and enterobacteria), **ii)** their chemical contents, **iii)** all their penetration test parameters and **iv)** all their color parameters except the L* parameters in the heart. Moreover, the PCA of datasets highlights three or four cheese clusters dividing more or less artisanal cheeses from industrial Maroilles cheeses. On the other hand, the MFA of all datasets leads to three distinct clusters: 2 clusters of artisanal Maroilles and 1 cluster of industrial Maroilles, and therefore significantly discriminates between the two types of cheese, i.e. the artisanal from the industrial cheeses.

Maroilles cheeses produced by various manufacturers from raw or pasteurized milk display heterogeneous features. The differences concern all the analyzed parameters: sensory, microbiological, chemical, texture and color, suggesting a lack of quality standardization of this type of cheese which is probably associated with processing differences as well as with ripening conditions and duration. Most importantly, these differences allow consumers to have a great choice of Maroilles on the market and to make their own choice.

Acknowledgements

We are indebted to Dr. Souheila Abbeddou for the critical reading of the manuscript, and Sarah Descamps, Katia Naelten, Valerie Dero, Catherine Colpier for their helpful assistance.

References

- Abdi, H., O'Toole, A. J., Valentin, D., & Edelman, B. (2005). DISTATIS: The Analysis of Multiple Distance Matrices. *2005 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR'05) - Workshops*, 3, 42–42. <https://doi.org/10.1109/CVPR.2005.445>
- Abdi, H., Valentin, D., Chollet, S., & Chrea, C. (2007). Analyzing assessors and products in sorting tasks: DISTATIS, theory and applications. *Food Quality and Preference*, 18(4), 627–640. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2006.09.003>
- Albenzio, M., Corbo, M. R., Rehman, S. U., Fox, P. F., De Angelis, M., Corsetti, A., ... Gobbetti, M. (2001). Microbiological and biochemical characteristics of Canestrato Pugliese cheese made from raw milk, pasteurized milk or by heating the curd in hot whey. *International Journal of Food Microbiology*, 67(1–2), 35–48. [https://doi.org/10.1016/S0168-1605\(00\)00533-X](https://doi.org/10.1016/S0168-1605(00)00533-X)
- AOAC. (2000). Official methods of analysis of the association analytical chemists (17th ed.). Maryland, USA: Association of Official Analytical Chemists. Maryland, USA: Association of Official Analytical Chemists.
- Bockelmann, W., Willems, K. P., Neve, H., & Heller, K. H. (2005). Cultures for the ripening of smear cheeses. *International Dairy Journal*, 15(6–9), 719–732. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2004.08.022>
- Boulares, M., Mankai, M., & Hassouna, M. (2011). Effect of activating lactoperoxidase system in cheese milk on the quality of Saint-Paulin cheese. *International Journal of Dairy Technology*, 64(1), 75–83. <https://doi.org/10.1111/j.1471-0307.2010.00646.x>
- Brennan, N. M., Ward, A. C., Beresford, T. P., Fox, P. F., Goodfellow, M., & Cogan, T. M. (2002). Biodiversity of the bacterial flora on the surface of a smear cheese. *Applied and Environmental Microbiology*, 68(2), 820–830. <https://doi.org/10.1128/AEM.68.2.820-830.2002>
- Brighenti, M., Govindasamy-Lucey, S., Lim, K., Nelson, K., & Lucey, J. A. (2008). Characterization of the Rheological, Textural, and Sensory Properties of Samples of Commercial US Cream Cheese with Different Fat Contents. *Journal of Dairy Science*, 91(12), 4501–4517. <https://doi.org/https://doi.org/10.3168/jds.2008-1322>
- Buffa, M., Guamis, B., Saldo, J., & Trujillo, A. J. (2004). Changes in organic acids during ripening of cheeses made from raw, pasteurized or high-pressure-treated goats' milk. *LWT - Food Science and Technology*, 37(2), 247–253. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2003.08.006>
- Centi, V., Matteucci, F., Lepidi, A., Gallo, M. Del, & Ercole, C. (2017). Microbiological and biochemical aspects of inland Pecorino Abruzzese cheese. *Heliyon*, 3(2), 1–26. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2017.e00258>
- Champagne, C. P., Soullignac, L., Marcotte, M., & Innocent, J.-P. (2003). Texture et évolution du pH de fromages de type Brie entreposés en atmosphère contrôlée. *Lait*, 83(4), 145–151. <https://doi.org/10.1051/lait>

- Chollet, S., Lelièvre, M., Abdi, H., & Valentin, D. (2011). Sort and beer: Everything you wanted to know about the sorting task but did not dare to ask. *Food Quality and Preference*, 22(6), 507–520. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2011.02.004>
- Chollet, S., Valentin, D., & Abdi, H. (2014). Free Sorting Task. In *Novel Techniques in Sensory Characterization and Consumer Profiling* (pp. 207–227). <https://doi.org/doi:10.1201/b16853-9>
- Cniel. (2016). L'économie Laitière en chiffres, 18–105. Retrieved from <http://fr.calameo.com/read/002230051cdfa9ea35988>
- Dahl, S., Tavarina, F. K., & Malcata, F. X. (2000). Relationships between flavour and microbiological profiles in Serra da Estrela cheese throughout ripening. *International Dairy Journal*, 10, 255–262.
- Deegan, K. C., Heikintalo, N., Ritvanen, T., Putkonen, T., Rekonen, J., McSweeney, P. L. H., ... Tuorila, H. (2013). Effects of low-pressure homogenisation on the sensory and chemical properties of Emmental cheese. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 19, 104–114. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2013.04.008>
- Delcenserie, V., Taminiau, B., Delhalle, L., Nezer, C., Doyen, P., Crevecoeur, S., ... Daube, G. (2014). Microbiota characterization of a Belgian protected designation of origin cheese, Herve cheese, using metagenomic analysis. *Journal of Dairy Science*, 97(10), 6046–6056. <https://doi.org/10.3168/jds.2014-8225>
- Didienne, R., Defargues, C., Callon, C., Meylheuc, T., Hulin, S., & Montel, M. C. (2012). Characteristics of microbial biofilm on wooden vats ('gerles') in PDO Salers cheese. *International Journal of Food Microbiology*, 156(2), 91–101. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2012.03.007>
- Diezhandino, I., Fernández, D., González, L., McSweeney, P. L. H., & Fresno, J. M. (2015). Microbiological, physico-chemical and proteolytic changes in a Spanish blue cheese during ripening (Valdeón cheese). *Food Chemistry*, 168(1), 134–141. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.07.039>
- Dufossé, L., Galaup, P., Carlet, E., Flamin, C., & Valla, A. (2005). Spectrocolorimetry in the CIE L*a*b* color space as useful tool for monitoring the ripening process and the quality of PDO red-smear soft cheeses. *Food Research International*, 38(8–9), 919–924. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2005.02.013>
- Dugat-Bony, E., Garnier, L., Denonfoux, J., Ferreira, S., Sarthou, A. S., Bonnarme, P., & Irlinger, F. (2016). Highlighting the microbial diversity of 12 French cheese varieties. *International Journal of Food Microbiology*, 238, 265–273. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2016.09.026>
- Dumont, J. P., Roger, S., & Adda, J. (1974). Etude des composés volatils neutres présents dans les fromages à pâte molle et à croûte lavée. *Le Lait*, 54(531–532), 31–43.
- Elsamani, M. O., Habbani, S. S., Babiker, E. E., & Mohamed Ahmed, I. A. (2014). Biochemical, microbial and sensory evaluation of white soft cheese made from cow and lupin milk. *LWT - Food Science and Technology*, 59(1), 553–559. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.04.027>

- Falentin, H., Postollec, F., Parayre, S., Henaff, N., Le Bivic, P., Richoux, R., ... Sohier, D. (2010). Specific metabolic activity of ripening bacteria quantified by real-time reverse transcription PCR throughout Emmental cheese manufacture. *International Journal of Food Microbiology*, *144*(1), 10–19. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2010.06.003>
- Fennema, O. R. (1996). Food Chemistry. In *Food Chemistry* (Marcel Dec, Vol. 124, pp. 17–94). New York, NY: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.07.028>
- Feurer, C., Irlinger, F., Spinnler, H. E., Glaser, P., & Vallaes, T. (2004). Assessment of the rind microbial diversity in a farmhouse-produced vs a pasteurized industrially produced soft red-smear cheese using both cultivation and rDNA-based methods. *Journal of Applied Microbiology*, *97*(3), 546–556. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2004.02333.x>
- Flórez, A. B., & Mayo, B. (2006). Microbial diversity and succession during the manufacture and ripening of traditional, Spanish, blue-veined Cabrales cheese, as determined by PCR-DGGE. *International Journal of Food Microbiology*, *110*(2), 165–171. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2006.04.016>
- Franco, I., Prieto, B., Bernardo, A., Prieto, J. G., & Carballo, J. (2003). Biochemical changes throughout the ripening of a traditional Spanish goat cheese variety (Babia-Laciana). *International Dairy Journal*, *13*(2–3), 221–230. [https://doi.org/10.1016/S0958-6946\(02\)00154-1](https://doi.org/10.1016/S0958-6946(02)00154-1)
- Fresno, M., & Álvarez, S. (2012). Chemical, textural and sensorial changes during the ripening of Majorero goat cheese. *International Journal of Dairy Technology*, *65*(3), 393–400. <https://doi.org/10.1111/j.1471-0307.2012.00842.x>
- Fritzen-Freire, C. B., Müller, C. M. O., Laurindo, J. B., Amboni, R. D. D. M. C., & Prudêncio, E. S. (2010). The effect of direct acidification on the microbiological, physicochemical and sensory properties of probiotic Minas Frescal cheese. *International Journal of Dairy Technology*, *63*(4), 561–568. <https://doi.org/10.1111/j.1471-0307.2010.00617.x>
- Galaup, P., Flamin, C., Carlet, E., & Dufossé, L. (2005). HPLC analysis of the pigments produced by the microflora isolated from the “Protected Designation of Origin” French red-smear soft cheeses Munster, Epoisses, Reblochon and Livarot. *Food Research International*, *38*(8–9), 855–860. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2005.01.011>
- Galaup, P., Gautier, A., Piriou, Y., Villeblanche, A. de, Valla, A., & Dufossé, L. (2007). First pigment fingerprints from the rind of French PDO red-smear ripened soft cheeses Epoisses, Mont d’Or and Maroilles. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, *8*(3), 373–378. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2007.03.017>
- Galaup, P., Sutthiwong, N., Leclercq-Perlat, M. N., Valla, A., Caro, Y., Fouillaud, M., ... Dufossé, L. (2015). First isolation of *Brevibacterium* sp. pigments in the rind of an industrial red-smear-ripened soft cheese. *International Journal of Dairy Technology*, *68*(1), 144–147. <https://doi.org/10.1111/1471-0307.12211>
- Gori, K., Ryssel, M., Arneborg, N., & Jespersen, L. (2013). Isolation and Identification of the Microbiota of Danish Farmhouse and Industrially Produced Surface-Ripened Cheeses. *Microbial Ecology*, *65*(3), 602–615. <https://doi.org/10.1007/s00248-012-0138-3>

- Horne, J., Carpino, S., Tuminello, L., Rapisarda, T., Corallo, L., & Licitra, G. (2005). Differences in volatiles, and chemical, microbial and sensory characteristics between artisanal and industrial Piacentinu Ennese cheeses. *International Dairy Journal*, 15(6–9), 605–617. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2004.10.007>
- ISO, I. O. for S. (1998). Microbiology of food and animal feeding stuffs — Horizontal method for the enumeration of mesophilic lactic acid bacteria — Colony-count technique at 30 °C. *ISO 15214:1998*, (Geneva, Switzerland).
- ISO, I. O. for S. (2008). Microbiology of food and animal feeding stuffs — Horizontal method for the enumeration of yeasts and moulds — Part 2: Colony count technique in products with water activity less than or equal to 0,95. *ISO 21527-2:2008*, (Geneva, Switzerland).
- ISO, I. O. for S. (2013). Microbiology of the food chain — Horizontal method for the enumeration of microorganisms — Part 1: Colony count at 30 °C by the pour plate technique. *ISO 4833-1:2013*, 44(Geneva, Switzerland), 1–15.
- ISO, I. O. for S. (2017). Microbiology of the food chain -- Horizontal method for the detection and enumeration of Enterobacteriaceae -- Part 2: Colony-count technique. *ISO 21528-2:2017*, (Geneva, Switzerland).
- Jaster, H., Campos, A. C. L. P. de, Auer, L. B., Los, F. G. B., Salem, R. D. S., Esmerino, L. A., ... Demiate, I. M. (2014). Quality evaluation of parmesan-type cheese: a chemometric approach. *Food Science and Technology (Campinas)*, 34(1), 181–188. <https://doi.org/10.1590/S0101-20612014000100026>
- Ktoury, M., Mpagana, M., & Hardy, J. (1989). Influence de l'â€™ affinage sur les propriétés rhéologiques du camembert et du saint-paulin. *Lait*, 69(2), 137–149.
- Leclercq-Perlat, M.-N., Corrieu, G., & Spinnler, H.-E. (2004). The Color of Brevibacterium linens Depends on the Yeast Used for Cheese Deacidification. *Journal of Dairy Science*, 87(5), 1536–1544. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(04\)73305-6](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(04)73305-6)
- Leclercq-Perlat, M.-N., & Spinnler, H.-E. (2010). The type of cheese curds determined the colouring capacity of Brevibacterium and Arthrobacter species. *The Journal of Dairy Research*, 77(3), 287–94. <https://doi.org/10.1017/S0022029910000245>
- Magenis, R. B., Prudêncio, E. S., Fritzen-Freire, C. B., Stephan, M. P., Silvio do Egito, A. Ô., & Daguer, H. (2014). Rheological, physicochemical and authenticity assessment of Minas Frescal cheese. *Food Control*, 45, 22–28. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2014.04.012>
- Mankai, M., Boulares, M., Ben Moussa, O., Karoui, R., & Hassouna, M. (2012). The effect of refrigerated storage of raw milk on the physicochemical and microbiological quality of Tunisian semihard Gouda-type cheese during ripening. *International Journal of Dairy Technology*, 65(2), 250–259. <https://doi.org/10.1111/j.1471-0307.2012.00822.x>
- Mathias-Rettig, K. ., & Ah-Hen, K. (2014). El color en los alimentos un criterio de calidad medible Color. *AgroSur. Universidad Austral de Chile*, 42(2), 39–48. <https://doi.org/10.4206/agrosur.2014.v42n2-07>

- Ministry of Agriculture, A.-F. and F. (2015). *Cahier des charges de l'appellation d'origine « Maroilles » ou « Marolles » homologué par décret n° 2015-1032 du 19 août 2015*, JORF du 21 août 2015 Bulletin officiel du Ministère de l'agriculture, de l'agroalimentaire et de la forêt n° 37 - I. Bulletin officiel du Ministère de l'agriculture, de l'agroalimentaire et de la forêt n° 37 - 2015.
- Mohamed Ahmed, I. A., Babiker, E. E., & Mori, N. (2010). pH stability and influence of salts on activity of a milk-clotting enzyme from *Solanum dubium* seeds and its enzymatic action on bovine caseins. *LWT - Food Science and Technology*, 43(5), 759–764. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2009.12.011>
- Monnet, C., Back, A., & Irlinger, F. (2012). Growth of aerobic ripening bacteria at the cheese surface is limited by the availability of iron. *Applied and Environmental Microbiology*, 78(9), 3185–3192. <https://doi.org/10.1128/AEM.00085-12>
- Mortensen, G., Bertelsen, G., Mortensen, B. K., & Stapelfeldt, H. (2004). Light-induced changes in packaged cheeses - A review. *International Dairy Journal*, 14(2), 85–102. [https://doi.org/10.1016/S0958-6946\(03\)00169-9](https://doi.org/10.1016/S0958-6946(03)00169-9)
- Muehlhoff, E., Bennett, A., & McMahon, D. (2013). *Dairy products in human nutrition dairy products*. Roma, Italy: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) Viale delle Terme di Caracalla, 00153 Rome, Italy.
- Nacef, M., Chevalier, M., Chollet, S., Drider, D., & Flahaut, C. (2017). MALDI-TOF mass spectrometry for the identification of lactic acid bacteria isolated from a French cheese: The Maroilles. *International Journal of Food Microbiology*, 247, 2–8. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2016.07.005>
- Ozmen Togay, S., Guneser, O., & Karagul Yuceer, Y. (2017). Evaluation of physicochemical, microbiological, sensory properties and aroma profiles of goat cheeses provided from Canakkale. *International Journal of Dairy Technology*, 70(4), 514–525. <https://doi.org/10.1111/1471-0307.12374>
- Pinho, O., Mendes, E., Alves, M. M., & Ferreira, I. M. P. L. V. O. (2004). Chemical, Physical, and Sensorial Characteristics of “Terrincho” Ewe Cheese: Changes During Ripening and Intravarietal Comparison. *Journal of Dairy Science*, 87(2), 249–257. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(04\)73163-X](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(04)73163-X)
- Rea, S., Marino, L., Stocchi, R., Branciarri, R., Loschi, A. R., Miraglia, D., & Ranucci, D. (2016). Differences in chemical, physical and microbiological characteristics of Italian Burrata cheeses made in artisanal and industrial plants of the Apulia Region. *Italian Journal of Food Safety*, 5(3). <https://doi.org/10.4081/ijfs.2016.5879>
- Rocha, J. S., Buriti, F. C. A., & Saad, S. M. I. (2006). Conditions of production and distribution of minas fresh cheese. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinaria E Zootecnia*, 58(2), 263–272.
- Sandoval-Copado, J., Orozco-Villafuerte, J., Pedrero-Fuehrer, D., & Colín-Cruz, M. A. (2016). Sensory profile development of Oaxaca cheese and relationship with physicochemical parameters. *Journal of Dairy Science*, 99(9), 7075–7084. <https://doi.org/10.3168/jds.2015-10833>

- Santosa, M., Abdi, H., & Guinard, J. X. (2010). A modified sorting task to investigate consumer perceptions of extra virgin olive oils. *Food Quality and Preference*, 21(7), 881–892. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2010.05.011>
- Saurel, R., Pajonk, A., & Andrieu, J. (2004). Modelling of French Emmental cheese water activity during salting and ripening periods. *Journal of Food Engineering*, 63(2), 163–170. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(03\)00295-4](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(03)00295-4)
- Schlessler, J. E., Schmidt, S. J., & Speckman, R. (1992). Characterization of Chemical and Physical Changes in Camembert Cheese During Ripening. *Journal of Dairy Science*, 75(7), 1753–1760. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(92\)77934-X](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(92)77934-X)
- Tunick, M. H., & Van Hekken, D. L. (2010). Rheology and texture of commercial queso fresco cheeses made from raw and pasteurized milk. *Journal of Food Quality*, 33(SUPPL. 1), 204–215. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4557.2010.00331.x>
- Vassal, L., Monnet, V., Le Bars, D., Roux, C., & Gripon, J. C. (1986). Relation entre le pH, la composition chimique et la texture des fromages de type Camembert. *Le Lait*, 66(4), 341–351. <https://doi.org/10.1051/lait:1986422>
- Verdini, R. A., & Rubiolo, A. C. (2002). Texture changes during the ripening of Port Salut Argentino cheese in 2 sampling zones. *Journal of Food Science*, 67(5), 1808–1813. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2002.tb08727.x>
- Visotto, R. G., Oliveira, M. A. de, Prado, S. de P. T., & Bergamini, A. M. M. (2011). Minas Frescal Cheese: hygienic-sanitary characteristic and assessment of label information. *Revista Do Instituto Adolfo Lutz*, 70(1), 8–15. Retrieved from <http://revistas.bvs-vet.org.br/rialutz/article/view/5883>

3 Conclusion

Cette étude montre que les fromages Maroilles fermiers et industriels présentent des caractéristiques bien distinctes. Les différences concernent tous les paramètres analysés : sensoriels, microbiologiques, chimiques, physiques (couleur) suggérant un manque de standardisation de ce type de fromage qui est probablement associé aux différences de traitement ainsi qu'aux conditions et à la durée d'affinage (sachant que le cahier des charges exige un minimum de durée d'affinage de 35 jours mais le producteur peut aller jusqu'à 3 mois d'affinage). Sachant que le Maroilles dispose d'une AOP, un autre résultat remarquable de cette étude se traduit par les différences trouvées entre les 15 Maroilles indépendamment de leur appartenance au type fermier ou industriel. En conséquence, malgré la standardisation du processus de production due aux règlements et aux cahiers des charges de l'AOP, il apparaît encore une belle diversité des Maroilles. Cette sauvegarde de la diversité et la richesse d'un produit local permettent ainsi aux consommateurs d'avoir une diversité de produits estampillés Maroilles sur le marché et de faire leur propre choix.

Il reste à savoir si l'on peut faire des liens entre les différents types d'analyses et ainsi prédire les caractéristiques sensorielles et l'appréciation de Maroilles à partir de paramètres instrumentaux.

**CHAPITRE 2. POUVONS-NOUS PRÉDIRE
L'APPRÉCIATION ET LA DESCRIPTION SENSORIELLE
DU MAROILLES PAR DES ANALYSES
PHYSICOCIMIQUES ET MICROBIOLOGIQUES ?**

1 Introduction

La caractérisation des fromages est une étape importante pour mieux comprendre la typicité d'un fromage par rapport aux autres. Beaucoup d'études portant sur la caractérisation des fromages ont mis en œuvre un seul type d'analyses : 1) des analyses microbiologiques sur la flore de surface des fromages à pâte molle (Bockelmann et al., 2005), sur la croûte et le cœur de fromages industriels et fermiers à pâte molle et croûte lavée belges, "le Herve" (Delcenserie et al., 2014), sur la diversité bactérienne et fongique de 60 fromages appartenant à 12 variétés en France (Dugat-Bony et al., 2016); 2) des analyses physicochimiques sur l'influence des caractéristiques chimiques et biochimiques sur la texture de l'Appenzeller (Guggisberg et al., 2017), sur la couleur de la croûte des fromages à pâte molle tels que l'Époisses, le Munster, le Maroilles, le Livarot, le Limburger et le Tilsit (Dufossé et al., 2005), sur l'analyse des pigments par CLHP pour les fromages à pâte molle comme le Maroilles, le Mont d'Or et l'Époisses (Galaup et al., 2007), 3) des analyses sur la texture et la rhéologie de fromages frais (Tunick and Van Hekken, 2010) et 4) des analyses sensorielles (profil de flaveur) sur sept fromages, à savoir le Brie, Coulommier, Camembert, Saint Nectaire, Munster, Chèvre et Bleu (Chambers et al., 2010).

D'autres auteurs ont combiné deux types d'analyses : par exemple 1) des analyses microbiologiques et physicochimiques pour le fromage bleu espagnol (Diezhandino et al., 2015), le fromage de type Parmesan (Jaster et al., 2014), le fromage Burrata artisanal et industriel (Rea et al., 2016), le fromage Pecorino artisanal et industriel (Campolo et al., 2013) et le fromage Canstrato Pugliese (Albenzio et al., 2001) ; ou encore 2) des analyses sensorielles et physicochimiques pour le fromage Bleu espagnol (Diezhandino et al., 2016), le fromage Majorero (Fresno and Álvarez, 2012). Seuls quelques chercheurs utilisent au moins trois types d'analyses simultanément : par exemple, Horne *et al.* ont étudié les différences entre les fromages Piacentinu Ennese italiens en comparant leurs caractéristiques microbiologiques, chimiques et sensorielles (Horne et al., 2005) ou encore Jimenez-Maroto (2015) a comparé des fromages frais en utilisant des méthodes sensorielles, chimiques et microbiologiques (Jimenez-Maroto et al., 2016). Toutes ces différentes analyses contribuent à la compréhension et à la caractérisation des fromages.

Est-ce que cette caractérisation essentiellement instrumentale reflète bien ce que le consommateur perçoit et peut donc aider à l'amélioration de la qualité des maroilles ? Peut-on connaître les niveaux des paramètres instrumentaux qui permettent de fabriquer des Maroilles appréciés par le consommateur ? Dans ce chapitre, nous essayerons de prédire l'évaluation hédonique des consommateurs et les descripteurs sensoriels des fromages Maroilles à partir de paramètres déterminés de manière instrumentale. Nous avons analysé six Maroilles en mesurant une série de paramètres chimiques, microbiologiques, de texture (test de pénétration), de colorimétrie ainsi que des composés aromatiques et des acides gras. Parallèlement nous avons effectué un test consommateur pour évaluer l'appréciation des Maroilles et un profil flash pour décrire chaque Maroilles. À l'aide d'une régression partielle des moindres carrés (PLS), les paramètres sensoriels (évaluation hédonique et descripteurs sensoriels) ont été mis en lien avec les paramètres instrumentaux afin d'identifier leur importance relative sur la qualité du Maroilles.

2 Article

Le résultat de l'étude se présente sous la forme d'un article de recherche en préparation pour soumettre à *Lwt-Food Science and Technology*.

Can we predict Liking and Sensory Description of Maroilles cheese by physicochemical and microbiological analyses?

Nacef, M.¹, Lelievre-Desmas, M.¹, Drider, D.¹, Flahaut, C.¹ and Chollet, S*.¹

¹ISA, Univ. Lille, INRA, Univ. Artois, Univ. Littoral Côte d'Opale, EA 7394 - ICV - Institut Charles Viollette, F-59000 Lille, France

* CORRESPONDING AUTHOR FOOTNOTE

Dr. Sylvie Chollet

Tel.: +33 3.28.38.46.36

Fax: +33 3.28.38.48.47

E-mail address: sylvie.chollet@yncrea.fr

Key words:

Maroilles cheese, Sensory, Physicochemical, Microbiology, Partial Least Square (PLS).

ABSTRACT

The purpose of the present study was to relate the sensory with instrumental and microbiological analyses of Maroilles cheeses. Partial Least Squares Regression (PLS) was applied to predict the hedonic score and sensory descriptive attributes of six Maroilles cheeses based on some physicochemical and microbiological parameters. A hedonic test was conducted with 304 judges in France to obtain liking scores and a descriptive test was performed using flash profile method to describe the products. The PLS model obtained for the liking evaluation was very satisfactory, with a high $R^2=0.997$ and a low root mean square $RMSE=0.021$. The physicochemical parameters that contributed most in predicting cheese liking are free fatty acids and ash proportion. Sensory descriptors of texture, flavour and appearance are also frequently associated with cheese parameters as predicted by the PLS model : heart colour ($R^2=0.962$), bitterness ($R^2=0.662$), farm taste ($R^2=0.824$), creamy odour ($R^2=0.895$), stickiness ($R^2=0.998$), smoothness ($R^2=0.822$), dryness ($R^2=0.637$), and chalkiness ($R^2=0.745$). The same variables contributed in predicting the eight sensory attributes; i.e. pH, ash proportion, fatty acids ranging from C4:0 to C10:0 in addition to C18 and rheological parameters. This study shows that sensory properties of Maroilles cheeses can be predicted from physicochemical parameters and seems to be promising for a better understanding of consumers' choices.

1 Introduction

Maroilles is a traditional French cheese with Protected Designation of Origin (P.D.O.) obtained since 1996. It is produced exclusively from cow's milk in the area of Thiérache, between the departments of Nord and Aisne, in Northern France. Maroilles belongs to the family of the red-smear soft cheeses, such as Munster, Epoisse and Livarot. Its manufacturing process resembles the process of most cheese products. It starts by the addition of rennet to raw or pasteurized milk at a temperature ranging between 26°C and 30°C. As soon as coagulation takes place, the resulting curd is cut into small cubes and placed in square shaped open-ended molds. The molds containing the curd are turned over every few hours for two days allowing whey drainage. During the ripening period, the cheese is washed with saline solutions to enhance the rind's formation. The resulting Maroilles cheese is transferred in maturing cellars to ripen during a period that can reach four months at temperature and humidity maintained at 9°C -16°C, and 90% Relative Humidity, respectively.

Maroilles cheese has specific sensorial, physicochemical and microbiological characteristics. Few studies that have been carried out on the Maroilles cheese focused on aspects such as: its neutral volatile compounds (Dumont, Roger, & Adda, 1974), its color (Dufossé, Galaup, Carlet, Flamin, & Valla, 2005), microbial diversity (Dugat-Bony et al., 2016) or lactic acid bacteria identification (Nacef, Chevalier, Chollet, Drider, & Flahaut, 2017).

Characterization of cheeses using sensory and chemical analyses was however performed in Gouda cheese (Jo, Benoist, Ameerally, & Drake, 2018; Ruysen et al., 2013), in goat cheeses (Gámbaro et al., 2017) and in cheddar cheese (Drake, Gerard, & Drake, 2008; Kim, Drake, & Drake, 2011; Lipkowitz, Ross, Diako, & Smith, 2018). Microbiological and physicochemical analyses were carried out for characterization of Spanish bleu cheese (Diezhandino, Fernández, González, McSweeney, & Fresno, 2015), and parmesan-type cheese (Jaster et al., 2014). While some studies used one type of analyses such as rheological (Huc, Mariette, & Michon, 2014; Messens, Van De Walle, Arevalo, Dewettinck, & Huyghebaert, 2000), microbiological (Bockelmann, Willems, Neve, & Heller, 2005; Ceugniet et al., 2017; Delcenserie et al., 2014; Dugat-Bony et al., 2016; Godon, Duthoit, Delbes, Millet, & Montel, 2001), physico-chemical (Dufossé et al., 2005; Saurel, Pajonk, & Andrieu, 2004) or sensorial analyses (Donadini, Fumi, Vanoni, & Porretta, 2012). Previously, Di cagno compared three Italian PDO ewes' milk cheeses using microbiological, chemical and sensory tests (Di Cagno et al., 2003). Jimenez-Maroto also compared fresh, pasta filata, and aged Hispanic cheeses

using sensory, chemical, functional, and microbiological analyses (Jimenez-Maroto, Lopez-Hernandez, Borneman, & Rankin, 2016).

From the above we can understand that sensory, microbiological, physicochemical and rheological analyses can characterize the different types of cheese. However the question arises on whether these tests can enable us in defining the quality/processing of the cheese. Also, can we predict sensory assessment including liking by simply assessing cheese for its microbiological and physicochemical properties? Multivariate statistical techniques have been employed with the objective of analyzing and describing cheeses with multidimensional observation (Molina, Martín-Álvarez, & Ramos, 1999; Moreno, Merkoçi, Alegret, Hernández-Cassou, & Saurina, 2004; Poveda, Garcia, Martín-Alvarez, & Cabezas, 2004; Rodríguez-Saona, Fry, McLaughlin, & Calvey, 2001; Skarpeid, Moe, & Indahl, 2001). These statistical methods have provided good predictive models in food research. To name few, Jaster et al. (2014) analyzed microbiological and physicochemical parameters for classification of commercial Parmesan cheese in Brazil using principal component analysis (PCA) and hierarchical cluster analysis (HCA). Multiple linear regression (MLR) was used to estimate ripening time of Serpa cheese based on rheological, physical and chemical data (Alvarenga, Silva, Garcia, & Sousa, 2008). Similarly, Poveda et al. (2004) and (Fernandez et al. (1998) were able to predict the ripening time of Manchego cheese using its physicochemical parameters. Principal component regression (PCR) was used to study the texture of soft cheeses (Dufour, Devaux, Fortier, & Herbert, 2001). Hough et al (1996) working on Reggianito grating cheese assessed the correlations between sensory and instrumental measurements of flavor and texture using partial least squares (PLS) (Hough et al., 1996). Fagan et al (2007) found that mid-infrared spectroscopy could successfully predict the maturity and sensory texture attributes of Cheddar cheese, using PLS as the statistical model (Fagan et al., 2007).

The aim of this study is to investigate the relationships between, on one hand, the liking of the Maroilles cheeses as assessed by a group of consumers and the sensory characteristics of the Maroilles cheese assessed by a panel and on the other hand, the instrumental measured parameters. In order to achieve this objective, a series of instrumental parameters including chemical composition, microbiological quality, textural parameters, color, aroma and fatty acids parameters were carried out on six Maroilles cheeses, in conjunction with the sensory characteristics of each of these six Maroilles. Partial least squares regression (PLS) was

performed to assess the relations between the sensory parameters (liking and sensory characteristics) and the instrumental parameters.

2 Materials and methods

2.1 Cheese samples

Six commercial Maroilles cheese products were used. Three of these were artisanal cheeses (Château Courbet, Pont des loups, Cerfmont) made with raw cow milk and the other three were industrial products (Leduc, Lesire, Fauquet) made with pasteurized milk. Samples purchased were kept into their original packaging and stored in a refrigerator at 7°C until analyses.

2.2 Analyses of samples

2.2.1 Sensory analyses

Two types of data were collected for sensory evaluation: liking data from a hedonic test and descriptive data from a Flash profile. Sampling was carried out as follows: for each Maroilles cheese, cylindrical pieces of 25 g were sampled on the peripheral part at one centimeter of the edge (avoiding the central part) in order to homogenize the cheese sampling. The crust of the cheese was not removed. Samples were presented in a plastic cup coded with a 3-digit number, were stored at 4°C and served for sensory evaluation at a temperature of 12°C. Both tests were conducted in individual sensory booths under white light at room temperature between 20°C and 21°C. The data were collected with the Fizz software program ver. 2.31g (Biosystemes, Couternon, France).

Hedonic test. The hedonic test was performed to assess the liking of the Maroilles cheeses. Three hundred and five (168 females and 137 males) regular cheese consumers between 18 and 70 years old were recruited in two cities of France: Lille and Angers. Participants were asked to rate their liking degree of the six Maroilles cheese samples under blind condition (*i.e.* without any information about the product) on an 11 point-scale anchored at the extremes with the terms “extremely disliked” (left of the scale) and “extremely liked” (right of the scale). After tasting each sample, consumers were instructed to rinse their mouth with mineral water. In order to balance the serving order and carryover effects, the presentation order of the samples was designed following William Latin squares.

Flash Profile. The flash profile described the sensory characteristics of Maroilles cheeses. Eight participants (five females and three males aged between 28 and 54 years) considered as

initiated assessors (used to participate to different sensory tests in the laboratory) were recruited for Flash Profile. Flash profile consisted of three sessions. During the first session, participants were given a set of Maroilles cheeses and asked to individually generate terms, which should be sufficiently discriminant to allow a ranking of the cheeses. In the second session, all the generated terms were then pooled and the participants were asked to read all the terms and to update their own list if desired. The third session consisted of the cheese evaluation itself; participants during this session were asked to rank the six cheeses for each of their own terms. Ties were allowed and participants could re-taste the cheeses as many times as they liked.

2.2.2 Microbiological analysis

For the purpose of this analysis, the heart and the rind of each sample of Maroilles cheese were tested separately. Rind samples were collected from the upper 5 mm of each side of the cheese, while heart samples were obtained from the remaining part, at a depth deeper than 5 mm from each side of the cheese cylinder.

Ten grams of the sample were placed in a 100-ml vial containing 90 ml of 0.9% sterile saline solution. After intense agitation of the vial, serial dilutions took place by distilled water (10⁻¹ to 10⁻⁷) and 1 ml of each dilution was spread over Man, Rogosa & Sharpe (MRS) medium agar (VWR international, Fontenay-sous-Bois, France) (ISO 15214:1998) and plate count Agar (PCA) medium petri dishes according to ISO 4833-1:2013. The dishes were immediately incubated respectively for 48 h and 72 h at 30°C. The enumeration of colonies in both techniques was carried out manually. All samples were analyzed in one single session with three replicates per sample.

2.2.3 Chemical analyses

The pH was determined by direct insertion of pH probe into the cheese (pH meter 507 Crison, Crison Instrument S.P.A., Carpi, Italy). Ash content was determined according to AOAC (2000); briefly five grams of cheese sample were dried and ashed in an oven, overnight at an increasing heating rate of 50°C/h up to a final temperature of 550°C. Total nitrogen was measured following the Kjeldahl method; a conversion factor of 6.38 f was used to estimate content in crude protein (AOAC, 2000). Fat content was evaluated using a Gerber butyrometer especially developed for cheeses (NF V04-287, 2002). For moisture, five grams of each sample were placed in stainless steel dishes covered by lids. Weight loss on drying (oven drying at 104°C ± 2) to a final constant weight was recorded as moisture content

(AOAC, 2000). The results for all the chemical components were expressed as percentage (weight/weight of cheese), except for pH.

Six mineral elements were measured in each Maroilles sample including Na, Ca, Mg, K, Zn and Cd. The rind (5 mm of each side of the sample) of the cheese was removed and the samples were homogenized with a stomacher (BagMixerR 400, Interscience, ST Nom, France). The same procedure was used for the determination of the concentration of each element: five grams of cheese sample were dried and ashed in an oven, overnight at an increasing heating rate of 50°C h⁻¹ up to a final temperature of 500°C. In a high precision balance, 0.1 g of each ash sample were weighed and placed in a 15-ml glass tube followed by the addition of 3 ml HNO₃ (70% w/v) and 3 ml H₂O₂ (30% w/v). Afterwards, the tubes containing the samples were heated in a hotblock device at 95°C for 1.5 hours. The samples were finally rinsed by ultra-pure water up to 15 ml and were homogenized again using a vortex homogenizer. For the analysis of Ca, Mg, Na and K the samples were diluted up to a final volume of 10 ml. In case of Ca (Dilution Factor 100) and Mg (Dilution Factor 20), LaCP3 (1% w/v) was used as dilution agent, while in the case of Na (Dilution Factor 1000) and K (Dilution Factor 20) distilled H₂O was used. The analysis of minerals was performed using an AA-6800 flame atomic absorption spectrometer (Shimadzu Corporation, Japan) equipped with an ASC-6100 auto sampler (Shimadzu Corporation, Japan). Absorption of Ca, Na, Mg, K, Zn, and Cd was measured respectively at 422.7 nm, 589.6 nm, 285.2 nm, 766.5 nm, 213.9 nm, and 228.8 nm. The analysis of each mineral was carried out in triplicate.

2.2.4 Determination of volatile compounds by SPME-GC/MS

The determination of the volatile compounds was carried out according to the methods of Delgado et al. (2010) and Lee et al. (2003) using Solid Phase Micro Extraction (SPME) (Delgado, González-Crespo, Cava, García-Parra, & Ramírez, 2010; Lee, Diono, Kim, & Min, 2003). Four grams of each cheese sample containing homogenized parts of both the rind and the heart were placed in a 20-ml vial, to which 4 ml NaH₂PO₄ (25% w/v) were added. The mixture was then stirred for 20 min at 50°C, in order to enhance the fast equilibrium of volatile compounds between the headspace and the solid phase (cheese matrix). Volatile compounds were extracted by injecting a 50/30 µm divinylbenzene/Carboxen/polydimethylsiloxane (DVB/CAR/ PDMS) SPME fiber (Supelco, Bellefonte, PA) into the headspace of the vial for 30 min at 50°C.

The volatiles thereby extracted were desorbed into the injection port of a gas chromatograph-mass spectrometer system at 250°C. The HP 5890 gas chromatograph is coupled with an HP 5971A MSD mass spectrometer (Agilent Technologies, Santa Clara, CA, USA). A capillary column (L = 30 m × Internal Diameter = 0.25 mm × Film thickness = 0.50 µm; ZB-WAXplus, Zebron, Phenomenex) was used for the separation of the volatile compounds. An isothermal temperature program was used, consisting of the following stages: heating to 40°C for 10 min, followed by temperature increase to 240°C at a heating rate of 5°C min⁻¹ for 11 min. Helium with flow rate of 1 ml min⁻¹ was used as carrier gas. A split ratio of 1/10 was used and the injector and the detector were adjusted at 250°C and 280°C respectively. Identification of the volatile compounds was done by comparing the mass spectra of the different substances with those of a commercial Mass Spectral Library, Wiley275 (Wiley, Somerset, NJ, USA). The procedure was carried out in duplicate for each sample.

2.2.5 Profile of fatty acids

The extraction of fat were performed by a Gerber butyrometer method. The fatty acid methyl esters (FAMES) were prepared by transesterification with potassium hydroxide following the method described in ISO 5509:2000. A VARIAN CP-3800 model gas chromatograph fitted with capillary column DB-WAX (30 m × 0.25 mm i.d. and 0.25 µm film thickness), equipped with a MS/MS detector (Saturn 2000) and flame ionization detection was used. Helium (99.999% purity) was used as carrier gas with a flow rate of 0.8 mL/min. The temperature of the injector and the detector was set at 250°C. The programmed sequence for column was set as: the initial temperature of 50°C held for 3 min, followed by an increase at a rate of 8°C/min to reach 125°C; then increased to 165°C at a rate of 4°C/min, the temperature was maintained at 165°C for 3 min. After that, the temperature was increased at a rate of 10°C/min until it reached 230°C, and was held for 2 min. The mass detector was equipped and set at the following conditions for mass spectrum collection: in the electron impact mode at an ionization voltage of 70 eV in the 50–400 amu scan range; the ion source temperature was set at 230°C.

Identification of the fatty acids (FAs) was done by comparing the RI (refractive index) with pure references and on computer matching with commercial mass spectra libraries (NIST & WILEY). Fatty acids were expressed as percentage of total FA content. Three replicates per cheese sample were carried out for each depth.

2.2.6 Determination of texture parameters: penetration test

The samples of whole Maroilles cheese were used for the penetration tests. The test was conducted using a TA-XT2 texture analyzer (Stable Micro Systems Ltd., Godalming, UK) equipped with a 10 mm diameter cylindrical probe. The hardness and adhesiveness were measured in the rind and the heart of the Maroilles cheese. Two tests were carried out, one on the peripheral area corresponding to the rind of Maroilles (penetration to 20% of the thickness of the cheese), and the second in the heart of the product with a penetration to 80% of the thickness of the Maroilles. The force value (KG) at the penetration depth was used: positive peak (PP) for hardness and negative peak (PN) for adhesiveness. Three replicates per cheese were carried out for each depth.

2.2.7 Determination of color parameters: a^* , b^* and L^*

Color analysis was carried out using a reflectance colorimeter spectrophotometer CM-3610d (Konica Minolta, Osaka, Japan). Illuminant D65 was used with an illumination angle of 10° . Three measurements were carried out at different points of the surface and the heart of the Maroilles cheese. The CIELab color space parameters studied were: lightness (L^*) changing from dark 0% to light 100% chromaticity, the red–green dimension (a^*) changing from green -60 to red +60 chromaticity and the blue–yellow dimension (b^*) changing from blue -60 to yellow +60 chromaticity. The results obtained were interpreted using the software package Color Data Software CM-S100w Spectra Magic TM NX version 1.9, Pro USB (Konica Minolta, Osaka, Japan). Color measurements were made three times on the rind and the heart of each Maroilles cheese.

2.3 Data analysis

The results of chemical composition, texture, microbiological quality, aroma, FA and color are represented as means and standard deviations (\pm SD). The data were assessed by analysis of variance (ANOVA) considering the cheeses (six Maroilles cheeses) as factors and chemical, textural, microbiological, aroma, FA and color parameters as dependent variables. Post-hoc pairwise testing among all cheeses was performed using Tukey test (considered significantly different at $P < 0.05$).

The liking data were analyzed by ANOVA considering the cheeses (six Maroilles cheeses) and the consumers as factors and liking scores as the dependent variable. When a significant effect of cheese was found, a post-hoc Tukey test ($p < 0.05$) was performed. For the flash profile data, the synonymous were regrouped and the individual data were added in a

cheese*descriptor matrix. A correspondence analysis (CA) was applied to this matrix in order to obtain a representation of the cheeses and descriptors used to describe each cheese.

Partial least square regression (PLS) analysis was performed to test the prediction of the sensory parameters; 1) liking score from the hedonic test and 2) 27 descriptors from Flash profile from chemical, textural, microbiological, aroma, FA and color parameters. PLS is a supervised regression method aiming at predicting Y variables (liking score and each descriptor from Flash profile in our case) from 77 variables (10 chemical, 4 textural, 4 microbiological, 32 aroma-related, 21 fatty acids and 6 color parameters). Out of these 77 variables, only 70 variables allowing discriminating the six Maroilles cheeses were included in the model. If several sensory variables were predicted at the same time from a set of instrumental variables, PLS2 was used, whereas the PLS1 solution was performed when each sensory variable was predicted individually. Coefficient of determination of the model (R^2) and the root mean squared error (RMSE) were discussed to assess the quality of the results by determining the predictive strength of the models. For a model to constitute a good predictor, R^2 must be close to 1 and RMSE related with the errors between measured and predicted value should be small and close to zero.

All the statistical analyses were performed with XLStat Base, Paris, France.

3 Results and discussion

3.1 Sensory parameters

3.1.1 Hedonic test.

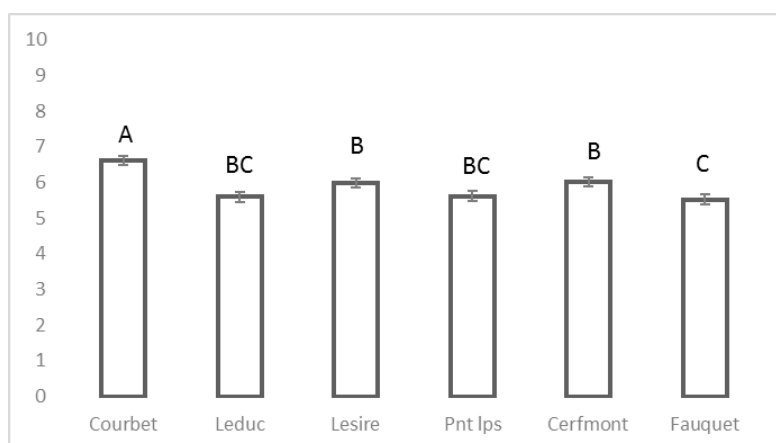


Figure 1. Mean liking score of the six Maroilles cheeses. Bars indicate the confidence intervals (IC 95%). Means with the different letters are significantly different based on Tukey's post-hoc test ($p < 0.05$).

The hedonic test results of the six Maroilles are shown in Figure 1. A significant difference ($P < 0.0001$) was found among the six Maroilles: Courbet was ranked the best Maroilles cheese whereas Fauquet, Leduc and Pnt des Loups were not liked by consumers participating in this

study; Lesire and Cerfmont have an intermediate ranking position. Similar heterogeneous pattern in the liking of tested cheese was reported by Donadini and collaborators (Donadini et al., 2012). Other researchers have assessed the relationships between the sensory qualities of cheese and the hedonic response of consumers (Caspia, Coggins, Schilling, & Yoon, 2005; Drake et al., 2009; Kildegaard, Løkke, & Thybo, 2011; Zhang et al., 2011). Color is the first feature to be perceived and determines the primary indicator in judging the product quality (Fresno & Álvarez, 2012). Pinho et al. (2004) revealed that texture and color are the key criteria in the evaluation of cheese quality, while other scientists found that texture and flavor were the key determinants (Galle et al., 2011; Hubbard, Jervis, & Drake, 2016).

The consumers in our study liked the Courbet Maroilles cheese (Artisanal cheese) which has undergone longer ripening time than the two industrial Maroilles cheese Fauquet and Leduc. Fresno and collaborators reported an increase in odor and flavor as well as a persistence in taste throughout the ripening period of Majorero cheese (Fresno & Álvarez, 2012).

3.1.2 Flash profile.

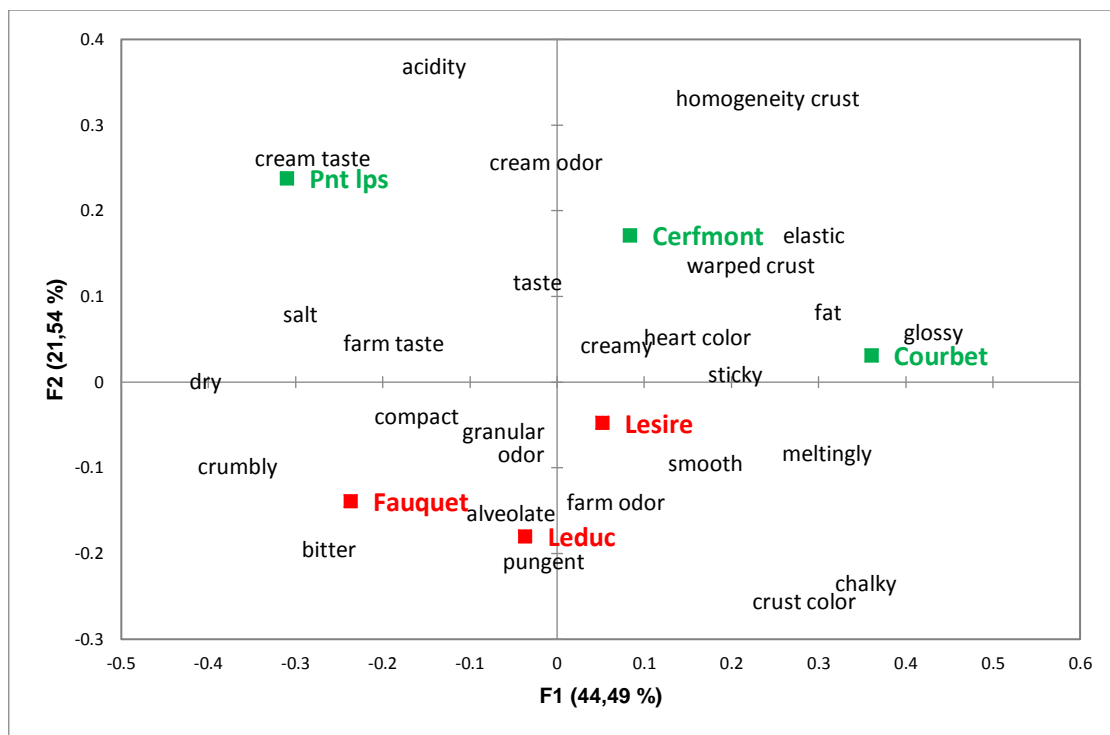


Figure 2. A correspondence analysis (CA) applied to the flash profile in order to obtain a representation of the cheeses and descriptors used to describe each cheese.

The first two dimensions of CA carried out on the data obtained from the Flash Profile are shown in Figure 2. They explain 66.03% of variation and reveal a multidimensional distribution of the Maroilles cheeses' descriptions. The first dimension opposes Pont des

lous and Fauquet which are characterized by the terms *compact*, *crumbly*, *farm taste*, *salty* and *dry* to Courbet which is described with the terms *glossy*, *crust color*, *elastic*, *meltingly* and *fat*. The second dimension opposes Leduc (*crust color*, *pungent*, *farm odor*) to Pont des lous and Cerfmont (*acid*, *elastic*, *homogeneous crust*, *cream color*). Lesire cheese is not well described on these two first dimensions; it is well represented on the fifth dimension and is described with the terms *bitter*, *creamy*, *fat*, *odor* and *salty* (results not shown). To summarize, each of the six cheeses could be described with specific terms, principally texture but also flavor terms. These terms thus express some specific characteristics due to the nature of the milk (raw or pasteurized) to produce the Maroilles cheese and/or to specific processes of each Maroilles cheeses. The flavor of raw milk cheeses is more intense and rich than the pasteurized milk cheeses (Montel et al., 2014). Buchin et al. (1998) found that raw-milk cheese has a stronger flavor and that the flavor was more indicative of the particular flavor of cheese than pasteurized-milk cheese (Beuvier & Buchin, 2004; Buchin et al., 1998). Beuvier et al. (1997) found a higher overall aroma intensity and pungency in raw-milk Swiss cheese when compared with pasteurized-milk cheese (Beuvier et al., 1997).

3.2 Instrumental parameters

Table 1. Microbial counts in the six Maroilles cheeses¹

Cheeses		Courbet	Leduc	Lesire	Pnt lps	Cerfmont	Fauquet	<i>P</i>
Total bacteria log cfu/g		8,31 ± 0,02 ^{cd}	8,9 ± 0,09 ^a	8,23 ± 0,07 ^{cd}	8,41 ± 0,15 ^{bc}	7,93 ± 0,32 ^d	8,8 ± 0,04 ^{ab}	< 0,0001
	Rind							
Lactic acid bacteria log cfu/g		7 ± 0,09 ^b	6,19 ± 0,17 ^c	7,92 ± 0,05 ^a	7 ± 0,04 ^b	7,09 ± 0,19 ^b	7,25 ± 0,27 ^b	< 0,0001
Total bacteria log cfu/g		8,38 ± 0,01 ^a	7,22 ± 0,13 ^c	7,89 ± 0,06 ^b	7,39 ± 0,08 ^c	7,93 ± 0,05 ^b	8,31 ± 0,08 ^a	< 0,0001
	Heart							
Lactic acid bacteria log cfu/g		7,42 ± 0,08 ^{ab}	6,31 ± 0,08 ^c	7,43 ± 0,06 ^{ab}	7,01 ± 0,14 ^b	7,59 ± 0,33 ^a	7,27 ± 0,24 ^{ab}	< 0,0001

¹Log cfu/g; mean ± SD

Table 1 shows the total bacteria and the lactic acid bacteria contents in the rind and in the heart of the six Maroilles cheeses. Both parameters in the rind and in the heart significantly differentiate the six Maroilles cheeses, while the pattern differs when the comparison was done based on the rind or on the heart for total bacteria. Total bacteria counts are the highest in Leduc and Fauquet and the lowest in Cerfmont, Lesire and Courbet in the rind; whereas in the heart total bacteria counts are highest in Courbet and Fauquet and lowest in Leduc and Pnt des lps. However, lactic bacteria counts were not different when compared in the rind and in the heart. The highest value of lactic bacteria count in the rind was found in Lesire and the lowest in Leduc; whereas the highest count in the heart was found in Cerfmont, Fauquet, Lesire and

Courbet, and the lowest in Leduc. (Dugat-Bony et al. (2016) also observed differences between rind and heart of 60 cheeses belonging to 12 popular French cheese varieties. The highest total bacteria count in the rind of the cheeses could result from the addition of red ferments during the washing step (as allowed by the specifications of the appellation of origin of Maroilles - Ministry of Agriculture, 2015). Other factors that might cause this heterogeneity in the bacteria counts among Maroilles cheeses are milk heat treatment, manufacturing process and hygiene (Nacef et al., 2017).

Table 2. Chemical composition of the six Maroilles cheeses

Cheeses	Courbet	Leduc	Lesire	Pnt lps	Cerfmont	Fauquet	P
pH	5,06 ± 0,03 ^b	5 ± 0,04 ^b	4,98 ± 0,05 ^b	5,12 ± 0,09 ^{ab}	5,15 ± 0,11 ^{ab}	5,26 ± 0,07 ^a	< 0,004
Ash (g/100g)	2,46 ± 0,03 ^b	3 ± 0,02 ^a	3,01 ± 0,08 ^a	2,86 ± 0,11 ^a	2,94 ± 0,08 ^a	2,91 ± 0,07 ^a	< 0,0001
Prot (g/100g)	21,61 ± 0,17 ^b	23,16 ± 0,15 ^a	19,68 ± 0,11 ^d	20,16 ± 0,19 ^c	20,03 ± 0,19 ^{cd}	21,53 ± 0,14 ^b	< 0,0001
Fat ((g/100g)	29,5 ± 0,5 ^a	29 ± 0,05 ^{ab}	28,17 ± 0,29 ^{bc}	28,17 ± 0,29 ^{bc}	27,67 ± 0,29 ^c	24,33 ± 0,58 ^d	< 0,0001
Moisture (g/100g)	42,89 ± 0,08 ^d	43,5 ± 0,41 ^d	48,06 ± 0,26 ^{bc}	48,7 ± 0,18 ^b	47,55 ± 0,37 ^c	49,91 ± 0,23 ^a	< 0,0001
Ca (mg/100g)	424,85 ± 28,3 ^{ab}	352,2 ± 29,02 ^{bc}	371,8 ± 24,16 ^{bc}	415,6 ± 31,82 ^{ab}	486,58 ± 23,54 ^a	317,74 ± 11,28 ^c	0,001
Na (mg/100g)	482,66 ± 52,97 ^d	807,92 ± 63,35 ^b	768,35 ± 33,18 ^b	703,26 ± 30,71 ^{bc}	637,38 ± 35,15 ^c	968,32 ± 23,83 ^a	< 0,0001
Mg (mg/100)	9,59 ± 0,96 ^c	12,96 ± 0,18 ^b	13,28 ± 0,32 ^b	7,94 ± 0,37 ^d	16,08 ± ,051 ^a	12,84 ± 0,27 ^b	< 0,0001
K (mg/100g)	86,2 ± 7,44 ^{ab}	88,26 ± 4 ^{ab}	78,14 ± 2,84 ^{bc}	90,2 ± 3,54 ^{ab}	99,36 ± 7,08 ^a	63,44 ± 9,49 ^c	0,001
Zn (mg/100g)	2,2 ± 0,17 ^a	2,01 ± 0,1 ^a	1,9 ± 0,1 ^a	2,11 ± 0,29 ^a	1,09 ± 0,13 ^b	1,16 ± 0,16 ^b	< 0,0001

Table 2 summarizes the results of chemical composition and mineral contents of the six tested Maroilles. Significant differences were found for all the chemical parameters among the six Maroilles (at least $P < 0.004$). Values of pH ranged between 4.98 and 5.26; Fauquet had the highest pH and Courbet, Leduc and Lesire the lowest. Ash contents were between 2.46g to 3.00g, with Courbet having the lowest ash content. Crude protein contents ranged between 19.68g and 23.16g with Lesire and Cerfmont having the lowest protein content and Leduc containing the highest amount. Leduc had the highest content in fat (M=29.00g), while Fauquet had the lowest content (M=24.33g). Moisture content varied from 43.5g (Leduc) to 49.91g (Fauquet). The five minerals allow also in differentiating among the six Maroilles cheeses ($P \leq 0.001$); contents in Na, Mg and Zn were the most differentiating parameters. Content in Na varied from 482.66 mg in Courbet to 968.32 mg in Fauquet; that of Mg ranged between 7.94 mg (Pont des loups) and 16.08 mg (Cerfmont); and content in Zn varied

between 1.09 mg (Cerfmont) and 2.2 mg (Courbet). Overall, the chemical composition of Maroilles reported in our study are within the range of values presented by the table of nutritional composition of Ciqual (2017) for the different types of Maroilles: dairy, artisanal and industrial Maroilles (Ciqual, 2017a, 2017b).

Table 3. Volatile compound profile of the six Maroilles cheeses

Cheeses	Courbet	Leduc	Lesire	Pnt lps	Cerfmont	Fauquet	P
Methanethiol	5,31E+06 ± 8,23E+04 ^a	0,00E+00 ± 0,00E+00 ^d	0,00E+00 ± 0,00E+00 ^d	1,86E+06 ± 6,17E+04 ^c	3,30E+06 ± 1,64E+02 ^b	0,00E+00 ± 0,00E+00 ^d	< 0,0001
Disulfide dimethyl	7,78E+06 ± 1,59E+04 ^a	7,42E+06 ± 2,34E+04 ^b	2,02E+06 ± 2,87E+04 ^c	6,88E+06 ± 2,21E+03 ^c	4,78E+06 ± 4,15E+04 ^d	1,75E+06 ± 3,83E+04 ^f	< 0,0001
2-Heptanone	2,18E+07 ± 2,61E+05 ^a	4,28E+06 ± 9,93E+03 ^c	1,21E+07 ± 6,47E+03 ^b	5,81E+06 ± 1,11E+04 ^d	8,44E+06 ± 5,16E+04 ^c	4,27E+06 ± 1,88E+05 ^c	< 0,0001
Limonene	1,01E+06 ± 1,01E+04 ^a	9,27E+05 ± 5,06E+02 ^a	8,44E+05 ± 7,09E+02 ^a	3,63E+06 ± 4,20E+06 ^a	1,16E+06 ± 7,06E+02 ^a	6,96E+05 ± 1,13E+04 ^a	0,565
1-Butanol 3 methyl	1,88E+06 ± 4,86E+04 ^c	1,24E+06 ± 7,48E+03 ^d	1,02E+06 ± 7,35E+03 ^e	2,40E+06 ± 6,03E+03 ^b	2,56E+06 ± 2,12E+04 ^a	1,24E+06 ± 5,75E+04 ^d	< 0,0001
Styrene	1,98E+06 ± 2,31E+04 ^d	8,24E+06 ± 1,31E+04 ^c	2,65E+06 ± 2,95E+04 ^d	2,54E+07 ± 4,51E+05 ^b	2,65E+06 ± 4,50E+04 ^d	3,31E+07 ± 1,14E+06 ^a	< 0,0001
2-Butanone-3-hydroxy	3,62E+06 ± 4,42E+04 ^a	5,54E+07 ± 6,29E+07 ^a	5,04E+06 ± 1,22E+05 ^a	1,06E+06 ± 6,76E+04 ^a	1,11E+07 ± 1,77E+05 ^a	4,97E+06 ± 1,04E+05 ^a	0,372
Octanol	5,84E+05 ± 5,52E+03 ^c	9,77E+05 ± 1,27E+04 ^b	1,29E+06 ± 8,62E+04 ^a	4,98E+05 ± 2,25E+04 ^{cd}	3,59E+05 ± 4,96E+03 ^{de}	3,30E+05 ± 2,37E+02 ^c	< 0,0001
2,5-Dimethyl pyrazine	0,00E+00 ± 0,00E+00 ^d	3,01E+05 ± 3,37E+03 ^c	6,79E+05 ± 1,05E+04 ^b	0,00E+00 ± 0,00E+00 ^d	0,00E+00 ± 0,00E+00 ^d	1,09E+06 ± 1,84E+04 ^a	< 0,0001
2- Heptanol	7,95E+05 ± 1,95E+04 ^b	7,02E+05 ± 1,02E+04 ^c	4,93E+05 ± 8,37E+03 ^d	8,38E+05 ± 6,25E+03 ^b	8,94E+05 ± 9,70E+03 ^a	4,21E+05 ± 9,39E+02 ^c	< 0,0001
Trisulfide dimethyl	1,17E+07 ± 2,23E+05 ^a	3,42E+06 ± 7,36E+04 ^b	2,17E+06 ± 4,82E+04 ^c	1,24E+07 ± 6,36E+05 ^a	1,18E+07 ± 3,09E+05 ^a	3,38E+06 ± 3,15E+03 ^{bc}	< 0,0001
2-Nonanone	5,97E+07 ± 1,13E+06 ^a	2,92E+06 ± 9,37E+04 ^{de}	2,57E+07 ± 1,18E+05 ^b	4,36E+06 ± 4,96E+04 ^d	6,48E+06 ± 1,42E+05 ^c	2,27E+06 ± 2,25E+04 ^c	< 0,0001
Nonanal	2,97E+07 ± 5,16E+05 ^a	1,88E+07 ± 3,27E+05 ^c	1,42E+07 ± 6,98E+04 ^d	2,48E+07 ± 9,89E+04 ^b	3,00E+06 ± 4,83E+04 ^c	1,49E+07 ± 8,42E+04 ^d	< 0,0001
Trimethyl Pyrazine	2,05E+06 ± 6,84E+04 ^b	7,51E+05 ± 8,39E+03 ^d	1,50E+06 ± 9,27E+04 ^c	6,16E+05 ± 1,25E+04 ^d	2,28E+06 ± 6,47E+04 ^a	1,46E+06 ± 1,32E+04 ^c	< 0,0001
Acetic acid	4,01E+07 ± 1,12E+06 ^c	5,78E+07 ± 4,07E+05 ^c	4,74E+07 ± 3,30E+05 ^d	2,84E+07 ± 1,62E+05 ^f	6,19E+07 ± 7,39E+05 ^b	8,35E+07 ± 4,99E+04 ^a	< 0,0001
Benzaldehyde	1,20E+06 ± 3,69E+03 ^d	1,61E+06 ± 1,89E+04 ^c	1,66E+06 ± 1,79E+04 ^c	1,64E+06 ± 4,52E+03 ^c	4,12E+06 ± 1,88E+04 ^a	1,80E+06 ± 7,86E+03 ^b	< 0,0001
Propanoic acid	6,56E+06 ± 6,09E+04 ^d	8,15E+06 ± 2,92E+03 ^c	7,22E+06 ± 2,62E+04 ^{cd}	4,03E+07 ± 5,64E+05 ^a	1,68E+07 ± 2,88E+05 ^b	5,46E+06 ± 1,96E+04 ^e	< 0,0001
Isobutyric acid	2,88E+07 ± 1,82E+05 ^c	3,30E+07 ± 7,72E+05 ^d	7,22E+07 ± 3,60E+05 ^b	4,95E+07 ± 7,24E+05 ^c	8,67E+07 ± 9,44E+03 ^a	7,02E+07 ± 4,97E+05 ^b	< 0,0001
2 Undecanone	9,77E+06 ± 7,83E+04 ^a	0,00E+00 ± 0,00E+00 ^b	0,00E+00 ± 0,00E+00 ^b	0,00E+00 ± 0,00E+00 ^b	0,00E+00 ± 0,00E+00 ^b	0,00E+00 ± 0,00E+00 ^b	< 0,0001
Ethanol, 1 phenyl	3,21E+06 ± 3,34E+04 ^c	1,97E+07 ± 4,31E+05 ^b	0,00E+00 ± 0,00E+00 ^d	0,00E+00 ± 0,00E+00 ^d	0,00E+00 ± 0,00E+00 ^d	6,14E+07 ± 9,15E+04 ^a	< 0,0001
Butanoic acid	5,54E+07 ± 3,25E+05 ^c	2,19E+07 ± 7,34E+05 ^d	7,40E+07 ± 7,72E+05 ^b	1,01E+08 ± 4,54E+06 ^a	1,05E+08 ± 2,57E+06 ^a	6,12E+07 ± 6,49E+04 ^c	< 0,0001
Pentanoic acid	7,92E+08 ± 1,43E+07 ^a	4,73E+08 ± 8,32E+06 ^d	5,38E+08 ± 7,40E+05 ^c	4,12E+08 ± 3,30E+06 ^e	3,43E+08 ± 2,72E+06 ^f	7,46E+08 ± 5,04E+04 ^b	< 0,0001
2 Propanone 1 phenyl	8,36E+06 ± 1,35E+05 ^a	0,00E+00 ± 0,00E+00 ^d	1,19E+06 ± 2,28E+04 ^c	0,00E+00 ± 0,00E+00 ^d	0,00E+00 ± 0,00E+00 ^d	2,23E+06 ± 3,98E+04 ^b	< 0,0001
2 Pentanoic 1 phenyl	1,29E+07 ± 1,93E+05 ^a	0,00E+00 ± 0,00E+00 ^b	0,00E+00 ± 0,00E+00 ^b	0,00E+00 ± 0,00E+00 ^b	0,00E+00 ± 0,00E+00 ^b	0,00E+00 ± 0,00E+00 ^b	< 0,0001
2 Tridecanone	8,10E+05 ± 5,30E+03 ^a	0,00E+00 ± 0,00E+00 ^b	0,00E+00 ± 0,00E+00 ^b	0,00E+00 ± 0,00E+00 ^b	0,00E+00 ± 0,00E+00 ^b	0,00E+00 ± 0,00E+00 ^b	< 0,0001
Hexanoic acid	2,60E+08 ± 2,41E+07 ^a	4,44E+07 ± 1,77E+05 ^c	6,32E+07 ± 3,47E+05 ^{bc}	1,04E+08 ± 6,95E+06 ^b	2,64E+08 ± 1,79E+06 ^a	9,00E+07 ± 1,42E+06 ^b	< 0,0001
Phenylethyl alcohol	0,00E+00 ± 0,00E+00 ^d	3,14E+06 ± 4,36E+03 ^c	6,17E+07 ± 2,15E+05 ^a	0,00E+00 ± 0,00E+00 ^d	0,00E+00 ± 0,00E+00 ^d	1,44E+07 ± 3,76E+04 ^b	< 0,0001
Phenol	2,98E+08 ± 3,28E+06 ^a	2,75E+08 ± 1,52E+06 ^b	2,59E+08 ± 3,92E+06 ^b	2,34E+08 ± 6,32E+06 ^c	2,61E+08 ± 7,10E+06 ^b	4,37E+06 ± 2,24E+04 ^d	< 0,0001
Octanoic acid	8,96E+07 ± 9,38E+05 ^a	2,16E+07 ± 2,92E+06 ^c	3,21E+07 ± 4,54E+05 ^d	4,32E+07 ± 9,29E+05 ^c	6,61E+07 ± 2,91E+06 ^b	1,43E+07 ± 5,71E+04 ^f	< 0,0001
Delta decalactone	0,00E+00 ± 0,00E+00 ^d	3,98E+06 ± 1,10E+05 ^a	3,03E+06 ± 6,29E+04 ^b	0,00E+00 ± 0,00E+00 ^d	0,00E+00 ± 0,00E+00 ^d	1,88E+06 ± 7,64E+03 ^c	< 0,0001
H-Indole	3,98E+07 ± 3,61E+05 ^a	2,26E+07 ± 3,74E+04 ^c	1,23E+06 ± 1,15E+04 ^e	1,29E+07 ± 5,25E+05 ^d	2,55E+07 ± 1,96E+05 ^b	1,44E+06 ± 1,08E+04 ^c	< 0,0001
Decanoic acid	0,00E+00 ± 0,00E+00 ^b	4,72E+06 ± 2,97E+04 ^a	0,00E+00 ± 0,00E+00 ^b	0,00E+00 ± 0,00E+00 ^b	0,00E+00 ± 0,00E+00 ^b	0,00E+00 ± 0,00E+00 ^b	< 0,0001

The volatile compounds in cheese result from the numerous combination of microbial and biochemical activities throughout processing and ripening, such as proteolysis, lipolysis and metabolism of residual lactose, lactate and citrate (Bertuzzi, McSweeney, Rea, & Kilcawley, 2018; Carpino et al., 2017; P F Fox & Wallace, 1997; González-Martín et al., 2014; Kilcawley, 2017; Pillonel et al., 2003). They also result from the metabolism of free amino acids and free fatty acids (Fox, 2017). Volatile compounds extracted from the six Maroilles cheeses were different in number and intensity, demonstrating variability among cheese volatile profiles. Table 3 presents the total area value of volatile compounds extracted from the six Maroilles cheeses. Overall, most of the volatile compounds allow the differentiation among the six Maroilles cheeses ($P < 0.0001$), except for Limonene (terpene, citrus flavor) and 2-Butanone-3-hydroxy (ketones, buttery flavor) where the difference among the six cheeses was not significant ($P = 0.565$ and $P = 0.372$ respectively). Compounds identified include carboxylic acids, alcohols, ketones, terpenes, aldehydes and sulfuric compounds. Carboxylic acids were found to be important contributors in all Maroilles cheeses. Our findings are corroborated by results found in other studies which found carboxylic acids to be the main volatile compounds in red-smear ripened soft cheeses varieties (Bertuzzi et al., 2018; Bosset & Gauch, 1993; Dumont et al., 1974; Valero, Villamiel, Miralles, Sanz, & Martínez-Castro, 2001). An expected difference between the two types of Maroilles cheeses – artisanal and industrial - would be the presence of 2,5 dimethyl pyrazine found only in cheeses made of pasteurized milk (Fauquet, Leduc, Lesire) since these compound result from heating (Shibamoto, 1980). However, the overall aroma of each Maroilles cheese is a result of the presence of a variety of volatile compounds; each one would contribute to a specific aromatic note.

Table 4. Fatty acid profile of the six Maroilles cheeses

Cheeses	Courbet	Leduc	Lesire	Pnt Ips	Cerfmont	Fauquet	P
C4:0	0,76% ± 0,01 ^a	0,43% ± 0,01 ^c	0,62% ± 0,02 ^b	0,47% ± 0,02 ^c	0,75% ± 0,02 ^a	0,45% ± 0,01 ^c	< 0,0001
C5:0	0,05% ± 0 ^b	0,02% ± 0 ^c	0,08% ± 0,01 ^a	0,07% ± 0 ^{ab}	0,02% ± 0 ^c	0,08% ± 0,01 ^a	< 0,0001
C6:0	1,28% ± 0,08 ^{ab}	0,74% ± 0,16 ^c	1,32% ± 0,16 ^a	0,88% ± 0,05 ^{bc}	1,13% ± 0 ^{abc}	0,89% ± 0,04 ^{bc}	0,006
C7:0	0,03% ± 0 ^a	0,02% ± 0 ^b	0,02% ± 0 ^{ab}	0,02% ± 0 ^b	0,02% ± 0 ^{ab}	0,02% ± 0 ^b	0,018
C8:0	1,1% ± 0,01 ^{ab}	0,76% ± 0,05 ^d	1,14% ± 0 ^a	0,76% ± 0,04 ^d	0,95% ± 0,08 ^{bc}	0,88% ± 0,03 ^{cd}	0,000
C9:0	2,99% ± 0,01 ^a	2,18% ± 0,22 ^d	2,73% ± 0,15 ^{ab}	2,24% ± 0,03 ^{cd}	2,67% ± 0,07 ^{abc}	2,41% ± 0,03 ^{bcd}	0,002
C10:0	0,13% ± 0,01 ^a	0% ± 0 ^b	0% ± 0 ^b	0% ± 0 ^b	0% ± 0 ^b	0% ± 0 ^b	< 0,0001
C12:0	5,02% ± 1,39 ^a	3,04% ± 0,3 ^a	3,17% ± 0,43 ^a	3,05% ± 0,18 ^a	3,48% ± 0,13 ^a	3,45% ± 0,04 ^a	0,105
C13:0	0,14% ± 0,01 ^a	0,51% ± 0,56 ^a	0,12% ± 0,01 ^a	0,15% ± 0,04 ^a	0,03% ± 0,02 ^a	0,14% ± 0,03 ^a	0,475
C14:1	0,52% ± 0,67 ^a	0,64% ± 0,03 ^a	1,02% ± 0,04 ^a	0,98% ± 0,03 ^a	1,08% ± 0,06 ^a	1,11% ± 0,01 ^a	0,282
C14:0	11,3% ± 1,45 ^a	11,58% ± 0,06 ^a	10,9% ± 0,24 ^a	12% ± 0,41 ^a	11,95% ± 0,43 ^a	12,01% ± 0,35 ^a	0,521
C15:0	2,82% ± 0,39 ^b	1,94% ± 0,09 ^b	4,02% ± 0,21 ^a	2,39% ± 0,22 ^b	2,04% ± 0,14 ^b	2,27% ± 0,16 ^b	0,001
C16:1	1,42% ± 0,14 ^a	1,47% ± 0,44 ^a	1,79% ± 0,05 ^a	1,7% ± 0,04 ^a	1,75% ± 0,1 ^a	1,98% ± 0,05 ^a	0,173
C 16:0	29,18% ± 0,28 ^{bc}	30,24% ± 0,36 ^{bc}	27,58% ± 0,08 ^d	30,6% ± 0,1 ^{ab}	29,01% ± 0,35 ^{cd}	31,05% ± 0,7 ^a	0,001
C17:0	4,97% ± 0,07 ^b	2,04% ± 0,02 ^d	1,46% ± 0,04 ^a	2,13% ± 0,08 ^d	3,27% ± 0,05 ^c	2,18% ± 0,05 ^d	< 0,0001
C18:2 (Z,Z)	1,51% ± 0,03 ^b	1,22% ± 0,02 ^d	0,99% ± 0,02 ^e	1,53% ± 0 ^b	1,42% ± 0,02 ^c	1,63% ± 0,01 ^a	< 0,0001
C 18:3	0,84% ± 0,01 ^b	0,6% ± 0,04 ^c	0,06% ± 0,01 ^d	0,97% ± 0,04 ^a	0,91% ± 0,01 ^{ab}	0,69% ± 0,03 ^c	< 0,0001
C 18:1(E)	20,26% ± 0,36 ^b	16,14% ± 0,7 ^c	17,96% ± 0,6 ^{bc}	21,02% ± 0,87 ^a	19,76% ± 0,32 ^{ab}	20,8% ± 0,74 ^a	0,001
C 18:1 (Z)	1,11% ± 0,02 ^d	6,9% ± 0,08 ^a	0,85% ± 0,03 ^d	3,88% ± 0,21 ^b	3,63% ± 0,15 ^{bc}	3,39% ± 0,09 ^c	< 0,0001
C18:1	0,19% ± 0,01 ^c	1,07% ± 0,12 ^a	0,17% ± 0,01 ^c	0,99% ± 0,04 ^a	0,72% ± 0,01 ^b	0,76% ± 0,01 ^b	< 0,0001
C18:0	10,21% ± 0,45 ^d	11,77% ± 0,36 ^{bc}	9,11% ± 0,09 ^e	12,85% ± 0,02 ^a	12,35% ± 0,12 ^{ab}	11,17% ± 0,21 ^{cd}	< 0,0001

The FA profile of the six Maroilles cheeses are shown in Table 4. Contrary to the previous parameters, not all the FAs allow in differentiating the six Maroilles. C12:0, C13:0, C14:1, C14:0 and C16:1 would not contribute in differentiating the cheeses ($P>0.05$). Fatty acids most abundantly present in the Maroilles cheeses were palmitic, oleic and stearic acids. Our results are consistent with the reported fatty acid composition of Tulum (Sert, Akin, &

Aktumsek, 2014) and of cow-milk cheese (Lešić et al., 2016). Ripening time affects free fatty acid formation (Lešić et al., 2016; Petrović, 2017; Sert et al., 2014; Tudor Kalit et al., 2014). It has been shown that the fermentation activity of lactic acid bacteria (LAB) present in milk increases the share of short chain fatty acids and medium chain fatty acids found in the final product (Slačanac, Hardi, Pavlović, Vlainić, & Lučan, 2005). At a given ripening time-point, free fatty acids are considered as an indicator of the extent of lipolysis (Tudor Kalit et al., 2014). Free fatty acids play an important role in the development of cheese flavor either directly or as precursors of volatile compounds, such as ketones, lactones, alcohols and aldehydes (Bertuzzi et al., 2018; Y F Collins, McSweeney, & Wilkinson, 2004; Liu, Holland, & Crow, 2004).

Table 5. Texture analysis of the six Maroilles cheeses

Cheeses	Courbet	Leduc	Lesire	Pnt lps	Cerfmont	Fauquet	P
Hardness 20%	1,26 ± 0,01 ^a	0,91 ± 0,02 ^b	0,75 ± 0,05 ^c	0,46 ± 0,02 ^d	0,76 ± 0,03 ^c	0,44 ± 0,02 ^d	< 0.0001
Adhesiveness	-0.26 ± 0.03 ^b	-0.38 ± 0.03 ^c	-0.24 ± 0.02 ^b	-0.16 ± 0.03 ^a	-0.24 ± 0.01 ^b	-0.15 ± 0.04 ^a	< 0.0001
Hardness 80%	1,94 ± 0,11 ^b	3,12 ± 0,35 ^a	1,97 ± 0,06 ^b	1,76 ± 0,03 ^b	2,22 ± 0,31 ^b	1,13 ± 0,05 ^c	< 0.0001
Adhesiveness	-1.17 ± 0.02 ^{bc}	-1,66 ± 0,25 ^c	-0.88 ± 0.1 ^{ab}	-0,86 ± 0,12 ^{ab}	-1,05 ± 0,39 ^b	-0,45 ± 0,04 ^a	< 0.0002

Penetration test is used to determine the firmness of fresh soft cheeses. It has been also used to assess the influence of various treatment steps on the texture properties of these cheeses (Sanchez, Beauregard, Bride, Buchheim, & Hardy, 1996). Table 5 shows the two texture parameters, hardness (positive value) and adhesiveness (negative value) measured with application forces of 20% and 80%. Regardless of the applied force, hardness and adhesiveness significantly differentiate the six cheeses (p-values <0.0002), highlighting an important variability in texture among the tested cheeses. In the rind (20%) and in the heart (80%), the results are relatively similar: mean value of hardness is highest for Courbet and lowest for Ponts des loups and Fauquet at 20%; whereas at 80% Leduc is the hardest and Fauquet the softest. Concerning adhesiveness, absolute values are highest for Leduc and lowest for Ponts des loups and Fauquet at 20%; whereas at 80% Leduc and Courbet present the highest values and Fauquet, Pont des loups and Lesire the lowest. Ripening time could explain these texture variations since it affects the taste, smell, appearance and consistency of a cheese (Lešić et al., 2016; Tratnik & Rogelj, 1998; Tudor Kalit et al., 2014). We could find

a relation between chemical composition and textural parameters as reported in other studies (Magenis et al., 2014). The two Maroilles cheeses Courbet and Leduc have the highest contents in protein (23.16 g and 21.61 g, respectively), fat (29 g and 29.5 g, respectively) and the lowest content in moisture (42.89 g and 43.5 g, respectively).

Table 6. Color analysis of the six Maroilles cheeses

Cheeses		Courbet	Leduc	Lesire	Pnt lps	Cerfmont	Fauquet	P
L*		67,51 ± 0,24 ^c	66,88 ± 0,02 ^d	68,88 ± 0,11 ^b	68,84 ± 0,02 ^b	72,61 ± 0,02 ^a	66,68 ± 0,11 ^d	< 0,0001
a*	Crust	3,60 ± 0,03 ^c	9,68 ± 0,03 ^b	12,44 ± 0,09 ^a	5,29 ± 0,06 ^d	3,68 ± 0,03 ^c	8,49 ± 0,02 ^c	< 0,0001
b*		14,22 ± 0,05 ^f	16,40 ± 0,03 ^e	19,45 ± 0,03 ^a	17,15 ± 0,11 ^d	18,09 ± 0,04 ^b	17,89 ± 0,07 ^c	< 0,0001
L*		79,96 ± 0,19 ^b	77,44 ± 0,25 ^c	75,15 ± 0,06 ^d	79,73 ± 0,13 ^b	77,74 ± 0,05 ^c	80,77 ± 0,14 ^a	< 0,0001
a*	Heart	1,39 ± 0,06 ^a	-0,78 ± 0,03 ^d	-0,49 ± 0,01 ^c	0,24 ± 0,02 ^b	0,24 ± 0,05 ^b	-0,49 ± 0,00 ^c	< 0,0001
b*		15,82 ± 0,03 ^a	11,67 ± 0,04 ^c	9,99 ± 0,01 ^e	11,06 ± 0,04 ^d	10,10 ± 0,08 ^e	12,54 ± 0,03 ^b	< 0,0001

Color parameters are very important for cheese evaluation and consumers' choice (Fresno & Álvarez, 2012; Galaup et al., 2007; Magenis et al., 2014). Results of the color analysis of the six Maroilles measured in the rind and in the heart are shown in Table 6. A significant difference ($p < 0.0001$) was found among the six Maroilles cheeses for L*, a* and b* parameters in the rind and in the heart. Concerning the rind, the highest value of L* is observed for Cerfmont and the lowest for Leduc. The redder and the more yellow is Lesire and the less red and less yellow are Cerfmont and Courbet. The heart of Fauquet has the highest value of L* and Lesire the lowest. The redder and the more yellow is Courbet, the less red is Leduc and the less yellow are Cerfmont and Lesire. These results corroborate the study of Dufossé et al (2005) who also observed a relative heterogeneity in the color among PDO Munster cheeses (Dufossé et al., 2005). This heterogeneity is due to peculiarity of the ripening process of these cheeses with repeated washes of the rind with a brine, which influences the development of a specific microflora. During ripening, the microflora produces pigments that give cheeses their orange/red color (Galaup et al., 2007).

3.3 Prediction of sensory liking and sensory description from instrumental parameters

3.3.1 Liking score from hedonic test

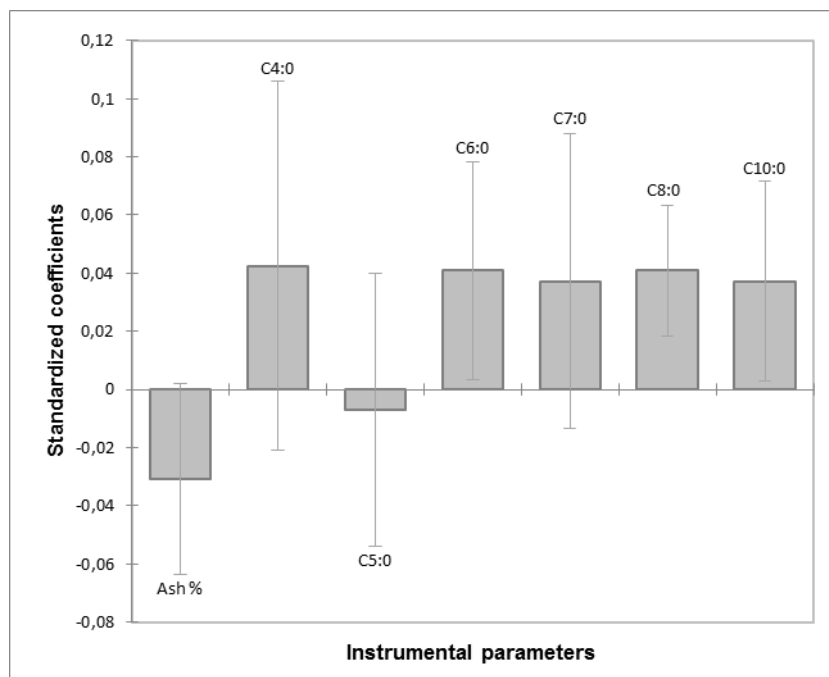


Figure 3. Normalized coefficients (CI 95%) for liking score modelization assessed by partial least squares regression analysis. Only the highest coefficients are presented (10%).

PLS analysis revealed that 99.7 % of the variation in liking score of the different cheeses was explained by instrumental parameters ($R^2=0.997$) with a low RMSE (0.021), which shows a very good predictability model. The regression coefficients (Figure 3) indicated that fatty acids C4:0, C5:0, C6:0, C7:0, C8:0 and C10 and ash content were the most important predictors of liking score. Fatty acids C4:0, C6:0, C7:0, C8:0 and C10 have a positive effect on the liking score whereas Ash content and C5:0 have a negative effect. Thus, the liking score of the different cheeses are mainly explained by the fatty acids C4:0 ($r=0.892$), C6:0 ($r=0.813$), C7:0 ($r=0.864$), C8:0 ($r=0.770$), C10:0 ($r=0.864$) and Ash content ($r=-0.775$). In other terms, high liking score could be obtained in cheeses with high value of C4:0, C6:0, C7:0, C8:0 and C10:0 and low values of Ash content and C5:0. Fatty acids contribute to the flavor of the cheese directly, and indirectly as precursors of many aromatic compounds (Arora, Cormier, & Lee, 1995; Bertuzzi et al., 2018; Budak, Koçak, Bron, & de Vries, 2018; Collins et al., 2004; Collins, McSweeney, & Wilkinson, 2003; Fox & Wallace, 1997; Fox, Guinee, Cogan, & McSweeney, 2017; McSweeney & Sousa, 2000).

3.3.2 Descriptions from Flash profile

Table 7. Statistical results of the PLS models for the prediction of various descriptors of the Flash profile¹

	Descriptors	R ²	RMSE	Instrumental parameter
Visual	alveolate	0,024	4,033	Ash (+), C4:0 (-), C5:0 (+), C7:0 (-), C8:0 (-), C10:0 (-), Adhesiveness-20% (+)
	crust color	0,721	5,737	ph (-), C5:0 (-), C7:0 (+), C8:0 (+), C10:0 (+), C18:2 (Z,Z) (-), Adhesiveness-20% (-)
	heart color	0,962	0,709	ph (-), C5:0 (-), C7:0 (+), C8:0 (+), C10:0 (+), Hardness-20% (-), Adhesiveness-20% (-)
	glossy	0,899	2,483	ph (-), C4:0 (+) C5:0 (-), C7:0 (+), C8:0 (+), C10:0 (+), Adhesiveness-20% (-)
Flavor	acidity	0,509	1,809	ph (+), C5:0 (+), C7:0 (-), C10:0 (-), C18:2 (Z,Z) (+), Hardness-20% (-), Adhesiveness-20% (+)
	bitter	0,662	0,993	ph (-), Ash (+), C4:0 (-), C7:0 (-), C8:0 (+), C10:0 (-), Adhesiveness-20% (-)
	taste	0,186	1,707	ph (-), C5:0 (-), C7:0 (-), C18:2 (Z,Z) (-), C 18:3 (-), Adhesiveness-20% (-), Adhesiveness-80% (-)
	cream taste	0,292	1,437	Ash (+), C4:0 (-), C5:0 (+), C6:0 (-), C7:0 (-), C8:0 (-), C10:0 (-)
	farm taste	0,824	1,022	Ash (+), C4:0 (-), C5:0 (+), C6:0 (-), C7:0 (-), C8:0 (-), C10:0 (-)
	Odor	0,829	2,557	ph (-), C5:0 (-), C7:0 (-), C10:0 (-), C18:2 (Z,Z) (-), C 18:3 (-), Adhesiveness-20% (-)
	cream odor	0,895	1,119	ph (+), C5:0 (+), C7:0 (+), C18:2 (Z,Z) (+), C 18:3 (+), Adhesiveness-20% (+), Adhesiveness-80% (+)
	Farm odor	0,561	3,955	ph (-), C5:0 (-), C7:0 (-), C10:0 (-), C18:2 (Z,Z) (-), C 18:3 (-), Adhesiveness-20% (-)
	pungent	0,169	4,025	Ash (+), C4:0 (-), C6:0 (-), C7:0 (-), C8:0 (+), C10:0 (-), Adhesiveness-20% (-)
	salt	0,811	1,678	Ash (+), C4:0 (-), C5:0 (+), C7:0 (-), C8:0 (+), C10:0 (-), Adhesiveness-20% (+)
Texture	sticky	0,998	0,210	ph (-), C5:0 (-), C7:0 (+), C8:0 (+) C10:0 (+), C18:2 (Z,Z) (-), Adhesiveness-20% (-)
	compact	0,919	1,837	ph (-), Ash (+), C4:0 (-), C7:0 (-), C10:0 (-), C18:2 (Z,Z) (-), Adhesiveness-20% (-)
	creamy	0,490	1,220	ph (-), C5:0 (-), C7:0 (-), C18:2 (Z,Z) (-), C 18:3 (-), Adhesiveness-20% (-), Adhesiveness-80% (-)
	elastic	0,666	4,122	ph (-), C4:0 (+), C5:0 (-), C7:0 (+), C8:0 (+), C10:0 (+), Adhesiveness-20% (-)
	meltingly	0,387	3,991	ph (-), C4:0 (+) C5:0 (-), C7:0 (+), C8:0 (+), C10:0 (+), Adhesiveness-20% (-)
	crumbly	0,586	2,943	ph (+), Ash (+), C4:0 (+), C5:0 (+), C7:0 (-), C8:0 (-), C10:0 (-)
	warped crust	0,269	1,460	ph (-), C4:0 (+), C5:0 (-), C7:0 (+), C8:0 (+), C10:0 (+), Adhesiveness-20% (-)
	granular	0,890	1,568	ph (-), C4:0 (-), C5:0 (-), C7:0 (-), C10:0 (-), C18:2 (Z,Z) (-), Adhesiveness-20% (-)
	fat	0,747	1,865	ph (-), C4:0 (+), C5:0 (-), C7:0 (+), C8:0 (+), C10:0 (+), Adhesiveness-20% (-)
	homogeneity crust	0,707	1,964	Ash (-), C4:0 (+), C5:0 (-), C6:0 (+), C7:0 (+), C8:0 (+), C10:0 (+)
	smooth	0,822	1,117	ph (-), C5:0 (-), C7:0 (+), C10:0 (+), C18:2 (Z,Z) (-), Hardness-20% (+), Adhesiveness-20% (-)
	dry	0,637	1,028	Ash (+), C4:0 (-), C5:0 (+), C6:0 (-), C7:0 (-), C8:0 (-), C10:0 (-)
chalky	0,745	0,863	ph (-), C5:0 (-), C7:0 (+), C8:0 (+) C10:0 (+), C18:2 (Z,Z) (-), Adhesiveness-20% (-)	

¹Only the instrumental parameters with high coefficients are presented (10%). The signs (-) and (+) indicate if the effect is negative or positive.

PLS analysis revealed that 63.7 % of the variation in sensory descriptions of the different cheeses was explained by instrumental parameters ($R^2=0.637$). Table 7 shows that overall, sensory descriptors from Flash profile were related to pH, ash content, fatty acids ranging between C4:0 and C10:0 and C18 and rheological parameters. Surprisingly, these related parameters are not specific to a category of sensory descriptors: they are related to visual, flavor and textural sensory descriptors. Fatty acids are the most important parameters to predict sensory descriptors as they are related to all sensory descriptors. However, the quality of the model is not equal for all the sensory descriptors. In fact, R^2 varies from 0.024 for alveolate to 0.998 for stickiness; and the RMSE varies from 5.737 for crust color to 0.21 for stickiness. By consequence, only the descriptors with R^2 superior to 0.5 and a RMSE inferior to 1.5 can be interpreted, as they are well predicted. It is the case for eight descriptors: one visual descriptor (heart color), three flavor descriptors (bitterness, farm taste and creamy odor) and four texture descriptors (stickiness, smoothness, dryness and chalkiness). Stickiness is the descriptor the most predicted by the PLS model: C7:0, C8:0, C10:0 have a positive

effect and pH, C5, C18:2 (Z, Z) and adhesiveness (20%) have a negative effect on stickiness. Similarly, not all the studies that assessed relationships between instrumental and sensory parameters found a good prediction model. To name few, Borràs et al. (2016) for olive oil, (Meullenet et al. (2002) for rice and Di Monaco (2007) for solid food failed to find good instrumental predictors for the sensory parameters (Di Monaco, Cavella, & Masi, 2007). Meullenet et al. (1998) suggested that using multiple parameters for the prediction of a single sensory attribute could improve the accuracy of the predictive models. It is possible that additional instrumental analyses such as the analysis of textural profile (TPA) could have improved the fitness of our prediction models.

4 Conclusion

This study shows that instrumental analyses could be used in predicting the hedonic test. Moreover, despite the difficulty in obtaining suitable prediction models for all the sensory descriptors, eight were well predicted (essentially flavor and texture). These results suggest that these descriptors represent the characteristics that are most important to the consumers of Maroilles cheese.

Fatty acids play an important role in predicting the liking and the sensory attributes because the flavor is an important indicator in appreciating the quality of cheese.

This study shows the benefit of the use of statistical tool such as PLS to predict sensory data from instrumental analysis. This methodology is promising in understanding cheese choices of consumers and can contribute in offering cheeses on the market that respond more to the demand.

Acknowledgments

The authors would like to thank Souheila Abbeddou for his careful reading of our article, which has greatly improved its quality.

References

- Alvarenga, N., Silva, P., Garcia, J. R., & Sousa, I. (2008). Estimation of Serpa cheese ripening time using multiple linear regression (MLR) considering rheological, physical and chemical data. *Journal of Dairy Research*, 75(2), 233–239. <https://doi.org/10.1017/S0022029908003191>
- AOAC. (2000). Official methods of analysis of the association analytical chemists (17th ed.). Maryland, USA: Association of Official Analytical Chemists. Maryland, USA: Association of Official Analytical Chemists.
- Arora, G., Cormier, F., & Lee, B. (1995). Analysis of odor-active volatiles in Cheddar cheese headspace by multidimensional GC/MS/sniffing. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 43(3), 748–752.
- Bertuzzi, A. S., McSweeney, P. L. H., Rea, M. C., & Kilcawley, K. N. (2018). Detection of Volatile Compounds of Cheese and Their Contribution to the Flavor Profile of Surface-Ripened Cheese. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 0, 1–20. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12332>
- Beuvier, E., Berthaud, K., Cegarra, S., Dasen, A., Pochet, S., Buchin, S., & Duboz, G. (1997). Ripening and quality of Swiss-type cheese made from raw, pasteurized or microfiltered milk. *International Dairy Journal*, 7(5), 311–323.
- Beuvier, E., & Buchin, S. (2004). *Raw milk cheeses. Cheese: chemistry, physics and microbiology* (Vol. 1). Elsevier Academic Press, London, UK.
- Bockelmann, W., Willems, K. P., Neve, H., & Heller, K. H. (2005). Cultures for the ripening of smear cheeses. *International Dairy Journal*, 15(6), 719–732. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2004.08.022>
- Borràs, E., Ferré, J., Boqué, R., Mestres, M., Aceña, L., Calvo, A., & Busto, O. (2016). Olive oil sensory defects classification with data fusion of instrumental techniques and multivariate analysis (PLS-DA). *Food Chemistry*, 203, 314–322. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.02.038>
- Bosset, J. O., & Gauch, R. (1993). Comparison of the volatile flavour compounds of six european “AOC” cheeses by using a new dynamic headspace GC-MS method. *International Dairy Journal*, 3(4–6), 359–377. [https://doi.org/10.1016/0958-6946\(93\)90023-S](https://doi.org/10.1016/0958-6946(93)90023-S)
- Buchin, S., Delague, V., Duboz, G., Berdague, J. L., Beuvier, E., Pochet, S., & Grappin, R. (1998). Influence of Pasteurization and Fat Composition of Milk on the Volatile Compounds and Flavor Characteristics of a Semi-hard Cheese. *Journal of Dairy Science*, 81(12), 3097–3108. [https://doi.org/https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(98\)75874-6](https://doi.org/https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(98)75874-6)
- Budak, Ş. Ö., Koçak, C., Bron, P. A., & de Vries, R. P. (2018). Role of Microbial Cultures and Enzymes During Cheese Production and Ripening. In *Microbial Cultures and Enzymes in Dairy Technology* (pp. 182–203). IGI Global.
- Carpino, S., Randazzo, C. L., Pino, A., Russo, N., Rapisarda, T., Belvedere, G., & Caggia, C. (2017). Influence of PDO Ragusano cheese biofilm microbiota on flavour compounds

- formation. *Food Microbiology*, 61, 126–135. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2016.09.006>
- Caspia, E. L., Coggins, P. C., Schilling, M. W., & Yoon, Y. (2005). and Descriptive Sensory Attributes in Cheddar Cheese *. *Journal of Sensory Studies*, 21(662), 112–127.
- Ceugniet, A., Taminiau, B., Coucheney, F., Jacques, P., Delcenserie, V., Daube, G., & Drider, D. (2017). Use of a metagenetic approach to monitor the bacterial microbiota of “Tomme d’Orchies” cheese during the ripening process. *International Journal of Food Microbiology*, 247, 65–69. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2016.10.034>
- Ciqual. (2017a). Table de composition nutritionnelle des aliments Maroilles , sans précision Composition détaillée.
- Ciqual. (2017b). Table de composition nutritionnelle des aliments Maroilles fermier Composition détaillée.
- Collins, Y. F., McSweeney, P. L. H., & Wilkinson, M. G. (2003). Lipolysis and free fatty acid catabolism in cheese: a review of current knowledge. *International Dairy Journal*, 13(11), 841–866.
- Collins, Y. F., McSweeney, P. L. H., & Wilkinson, M. G. (2004). Lipolysis and catabolism of fatty acids in cheese. *Cheese: Chemistry, Physics and Microbiology*, 1, 373–389.
- Delcenserie, V., Taminiau, B., Delhalle, L., Nezer, C., Doyen, P., Crevecoeur, S., ... Daube, G. (2014). Microbiota characterization of a Belgian protected designation of origin cheese, Herve cheese, using metagenomic analysis. *Journal of Dairy Science*, 97(10), 6046–6056. <https://doi.org/10.3168/jds.2014-8225>
- Delgado, F. J., González-Crespo, J., Cava, R., García-Parra, J., & Ramírez, R. (2010). Characterisation by SPME-GC-MS of the volatile profile of a Spanish soft cheese P.D.O. Torta del Casar during ripening. *Food Chemistry*, 118(1), 182–189. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.04.081>
- Di Cagno, R., Banks, J., Sheehan, L., Fox, P. F., Brechany, E. Y., Corsetti, A., & Gobbetti, M. (2003). Comparison of the microbiological, compositional, biochemical, volatile profile and sensory characteristics of three Italian PDO ewes’ milk cheeses. *International Dairy Journal*, 13(12), 961–972. [https://doi.org/10.1016/S0958-6946\(03\)00145-6](https://doi.org/10.1016/S0958-6946(03)00145-6)
- Di Monaco, S., Cavella, S., & Masi, P. (2007). Springiness of Solid Foods From Instrumental Measurements. *Journal of Texture Studies*, 39(2008), 129–149.
- Diezhandino, I., Fernández, D., González, L., McSweeney, P. L. H., & Fresno, J. M. (2015). Microbiological, physico-chemical and proteolytic changes in a Spanish blue cheese during ripening (Valdeón cheese). *Food Chemistry*, 168, 134–141. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.07.039>
- Donadini, G., Fumi, M. D., Vanoni, L., & Porretta, S. (2012). Hedonic response to cheese in preschoolers. *Journal of Sensory Studies*, 27(3), 176–187. <https://doi.org/10.1111/j.1745-459X.2012.00380.x>
- Drake, S. L., Gerard, P. D., & Drake, M. A. (2008). Consumer preferences for mild cheddar cheese flavors. *Journal of Food Science*, 73(9), 449–455. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2008.00960.x>

- Drake, S. L., Lopetcharat, K., Clark, S., Kwak, H. S., Lee, S. Y., & Drake, M. A. (2009). Mapping differences in consumer perception of sharp cheddar cheese in the united states. *Journal of Food Science*, 74(6). <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2009.01219.x>
- Dufossé, L., Galaup, P., Carlet, E., Flamin, C., & Valla, A. (2005). Spectrocolorimetry in the CIE L*a*b* color space as useful tool for monitoring the ripening process and the quality of PDO red-smear soft cheeses. *Food Research International*, 38(8–9), 919–924. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2005.02.013>
- Dufour, E., Devaux, M. F., Fortier, P., & Herbert, S. (2001). Delineation of the structure of soft cheeses at the molecular level by fluorescence spectroscopy - Relationship with texture. *International Dairy Journal*, 11(4–7), 465–473. [https://doi.org/10.1016/S0958-6946\(01\)00086-3](https://doi.org/10.1016/S0958-6946(01)00086-3)
- Dugat-Bony, E., Garnier, L., Denonfoux, J., Ferreira, S., Sarthou, A. S., Bonnarne, P., & Irlinger, F. (2016). Highlighting the microbial diversity of 12 French cheese varieties. *International Journal of Food Microbiology*, 238, 265–273. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2016.09.026>
- Dumont, J. P., Roger, S., & Adda, J. (1974). Etude des composés volatils neutres présents dans les fromages à pâte molle et à croûte lavée. *Le Lait*, 54(531–532), 31–43.
- Fagan, C. C., O'donnell, C. P., O'callaghan, D. J., Downey, G., Sheehan, E. M., Delahunty, C. M., ... Howard, V. (2007). Application of Mid-Infrared Spectroscopy to the Prediction of Maturity and Sensory Texture Attributes of Cheddar Cheese. *Journal of Food Science*, 72(3).
- Fernandez, C., Garcia, A., Vergara, H., & Gallego, L. (1998). Using ultrasound to determine fat thickness and longissimus dorsi area on Manchego lambs of different live weight. *Small Ruminant Research*, 27(2), 159–165.
- Fox, P. F., Guinee, T. P., Cogan, T. M., & McSweeney, P. L. H. (2017). Biochemistry of cheese ripening. In *Fundamentals of cheese science* (pp. 391–442). Springer.
- Fox, P. F., & Wallace, J. M. (1997). Formation of flavor compounds in cheese. *Advances in Applied Microbiology*, 45, 17–85.
- Fresno, M., & Álvarez, S. (2012). Chemical, textural and sensorial changes during the ripening of Majorero goat cheese. *International Journal of Dairy Technology*, 65(3), 393–400. <https://doi.org/10.1111/j.1471-0307.2012.00842.x>
- Galaup, P., Gautier, A., Piriou, Y., Villeblanche, A. de, Valla, A., & Dufossé, L. (2007). First pigment fingerprints from the rind of French PDO red-smear ripened soft cheeses Epoisses, Mont d'Or and Maroilles. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 8(3), 373–378. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2007.03.017>
- Galle, S. A., Koot, A., Soukoulis, C., Cappellin, L., Biasioli, F., Alewijn, M., & Van Ruth, S. M. (2011). Typicality and geographical origin markers of protected origin cheese from the Netherlands revealed by PTR-MS. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59(6), 2554–2563. <https://doi.org/10.1021/jf104170r>
- Gámbaro, A., González, V., Jiménez, S., Arechavaleta, A., Irigaray, B., Callejas, N., ... Vieitez, I. (2017). Chemical and sensory profiles of commercial goat cheeses.

International Dairy Journal, 69, 1–8.

- Godon, J. J., Duthoit, F., Delbes, C., Millet, L., & Montel, M. C. (2001). Use of molecular fingerprint for the study of complex microbial ecosystem. Application to “AOC Salers” cheese [16S rDNA, SSCP]. *Lait (France)*.
- González-Martín, I., Hernández-Hierro, J. M., González-Pérez, C., Revilla, I., Vivar-Quintana, A., & Ortega, I. L. (2014). Potential of near infrared spectroscopy for the analysis of volatile components in cheeses. *LWT-Food Science and Technology*, 55(2), 666–673.
- Hough, G., Califano, A. N., Bertola, N. C., Bevilacqua, A. E., Martinez, E., Vega, M. J., & Zaritzky, N. E. (1996). Partial least squares correlations between sensory and instrumental measurements of flavor and texture for reggiano grating cheese. *Food Quality and Preference*, 7(1), 47–53. [https://doi.org/10.1016/0950-3293\(94\)00000-X](https://doi.org/10.1016/0950-3293(94)00000-X)
- Hubbard, E. M., Jervis, S. M., & Drake, M. A. (2016). The effect of extrinsic attributes on liking of cottage cheese. *Journal of Dairy Science*, 99(1), 183–193.
- Huc, D., Mariette, F., & Michon, C. (2014). Rheological characterisation of semi-hard cheese using lubricated squeezing flow test. *International Dairy Journal*, 36(2), 101–109. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2014.01.011>
- ISO, I. O. for S. (1998). Microbiology of food and animal feeding stuffs — Horizontal method for the enumeration of mesophilic lactic acid bacteria — Colony-count technique at 30 °C. *ISO 15214:1998*, (Geneva, Switzerland).
- ISO, I. O. for S. (2013). Microbiology of the food chain — Horizontal method for the enumeration of microorganisms — Part 1: Colony count at 30 °C by the pour plate technique. *ISO 4833-1:2013*, 44(Geneva, Switzerland), 1–15.
- Jaster, H., Campos, A. C. L. P. de, Auer, L. B., Los, F. G. B., Salem, R. D. S., Esmerino, L. A., ... Demiate, I. M. (2014). Quality evaluation of parmesan-type cheese: a chemometric approach. *Food Science and Technology (Campinas)*, 34(1), 181–188. <https://doi.org/10.1590/S0101-20612014000100026>
- Jimenez-Maroto, L. A., Lopez-Hernandez, A., Borneman, D. L., & Rankin, S. A. (2016). A comparison of fresh, pasta filata, and aged Hispanic cheeses using sensory, chemical, functional, and microbiological assessments. *Journal of Dairy Science*, 99(4), 2680–2693. <https://doi.org/10.3168/jds.2015-10112>
- Jo, Y., Benoist, D. M., Ameerally, A., & Drake, M. A. (2018). Sensory and chemical properties of Gouda cheese. *Journal of Dairy Science*, 101(3), 1967–1989.
- Kilcawley, K. N. (2017). Cheese flavour. In *Fundamentals of cheese science* (pp. 443–474). Springer USA.
- Kildegaard, H., Løkke, M. M., & Thybo, A. K. (2011). Effect of increased fruit and fat content in an acidified milk product on preference, liking and wanting in children. *Journal of Sensory Studies*, 26(3), 226–236.
- Kim, M. K., Drake, S. L., & Drake, M. A. (2011). EVALUATION OF KEY FLAVOR COMPOUNDS IN REDUCED-AND FULL-FAT CHEDDAR CHEESES USING SENSORY STUDIES ON MODEL SYSTEMS. *Journal of Sensory Studies*, 26(4), 278–

290.

- Lee, J.-H., Diono, R., Kim, G.-Y., & Min, D. B. (2003). Optimization of solid phase microextraction analysis for the headspace volatile compounds of Parmesan cheese. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *51*(5), 1136–1140.
- Lešić, T., Pleadin, J., Krešić, G., Vahčić, N., Markov, K., Vrdoljak, M., & Frece, J. (2016). Chemical and fatty acid composition of cow and sheep milk cheeses in a lamb skin sack. *Journal of Food Composition and Analysis*, *46*, 70–77.
- Lipkowitz, J. B., Ross, C. F., Diako, C., & Smith, D. M. (2018). Discriminating aging and protein-to-fat ratio in Cheddar cheese using sensory analysis and a potentiometric electronic tongue. *Journal of Dairy Science*.
- Liu, S.-Q., Holland, R., & Crow, V. L. (2004). Esters and their biosynthesis in fermented dairy products: a review. *International Dairy Journal*, *14*(11), 923–945.
- Magenis, R. B., Prudêncio, E. S., Fritzen-Freire, C. B., Stephan, M. P., Silvio do Egito, A. Ô., & Daguer, H. (2014). Rheological, physicochemical and authenticity assessment of Minas Frescal cheese. *Food Control*, *45*, 22–28. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2014.04.012>
- McSweeney, P. L. H., & Sousa, M. J. (2000). Biochemical pathways for the production of flavour compounds in cheeses during ripening: A review. *Le Lait*, *80*(3), 293–324. <https://doi.org/10.1051/lait:2000127>
- Messens, W., Van De Walle, D., Arevalo, J., Dewettinck, K., & Huyghebaert, A. (2000). Rheological properties of high-pressure-treated Gouda cheese. *International Dairy Journal*, *10*(5–6), 359–367. [https://doi.org/10.1016/S0958-6946\(00\)00066-2](https://doi.org/10.1016/S0958-6946(00)00066-2)
- Meullenet, J. F. C., Gross, J., Marks, B. P., & Daniels, M. (1998). Sensory descriptive texture analyses of cooked rice and its correlation to instrumental parameters using an extrusion cell. *Cereal Chemistry*, *75*(5), 714–720. <https://doi.org/10.1094/CCHEM.1998.75.5.714>
- Meullenet, J. F., Mauromoustakos, A., Horner, T. B., & Marks, B. P. (2002). Prediction of texture of cooked white rice by near-infrared reflectance analysis of whole-grain milled samples. *Cereal Chemistry*, *79*(1), 52–57. <https://doi.org/10.1094/CCHEM.2002.79.1.52>
- Molina, E., Martín-Álvarez, P. J., & Ramos, M. (1999). Analysis of cows', ewes' and goats' milk mixtures by capillary electrophoresis: quantification by multivariate regression analysis. *International Dairy Journal*, *9*(2), 99–105.
- Montel, M. C., Buchin, S., Mallet, A., Delbes-Paus, C., Vuitton, D. A., Desmasures, N., & Berthier, F. (2014). Traditional cheeses: Rich and diverse microbiota with associated benefits. *International Journal of Food Microbiology*, *177*, 136–154. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2014.02.019>
- Moreno, L., Merkoçi, A., Alegret, S., Hernández-Cassou, S., & Saurina, J. (2004). Analysis of amino acids in complex samples by using voltammetry and multivariate calibration methods. *Analytica Chimica Acta*, *507*(2), 247–253.
- Nacef, M., Chevalier, M., Chollet, S., Drider, D., & Flahaut, C. (2017). MALDI-TOF mass spectrometry for the identification of lactic acid bacteria isolated from a French cheese: The Maroilles. *International Journal of Food Microbiology*, *247*, 2–8.

<https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2016.07.005>

- Petrović, D. (2017). Proteoliza i promjene teksture sira iz mišine tijekom zrenja. University of Zagreb. Faculty of Agriculture. Department of Dairy Science.
- Pillonel, L., Luginbühl, W., Picque, D., Schaller, E., Tabacchi, R., & Bosset, J. (2003). Analytical methods for the determination of the geographic origin of Emmental cheese: mid-and near-infrared spectroscopy. *European Food Research and Technology*, 216(2), 174–178.
- Pinho, O., Mendes, E., Alves, M. M., & Ferreira, I. M. P. L. V. O. (2004). Chemical, Physical, and Sensorial Characteristics of “Terrincho” Ewe Cheese: Changes During Ripening and Intravarietal Comparison. *Journal of Dairy Science*, 87(2), 249–257. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(04\)73163-X](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(04)73163-X)
- Poveda, J. M., Garcia, A., Martín-Alvarez, P. J., & Cabezas, L. (2004). Application of partial least squares (PLS) regression to predict the ripening time of Manchego cheese. *Food Chemistry*, 84(1), 29–33.
- Rodriguez-Saona, L. E., Fry, F. S., McLaughlin, M. A., & Calvey, E. M. (2001). Rapid analysis of sugars in fruit juices by FT-NIR spectroscopy. *Carbohydrate Research*, 336(1), 63–74.
- Ruysen, T., Janssens, M., Van Gasse, B., Van Laere, D., Van der Eecken, N., De Meerleer, M., ... Uyttendaele, M. (2013). Characterisation of Gouda cheeses based on sensory, analytical and high-field 1H nuclear magnetic resonance spectroscopy determinations: Effect of adjunct cultures and brine composition on sodium-reduced Gouda cheese. *International Dairy Journal*, 33(2), 142–152.
- Sanchez, C., Beauregard, J. L., Bride, M., Buchheim, W., & Hardy, J. (1996). Rheological and microstructural characterization of double cream cheese. *Molecular Nutrition & Food Research*, 40(3), 108–116.
- Saurel, R., Pajonk, A., & Andrieu, J. (2004). Modelling of French Emmental cheese water activity during salting and ripening periods. *Journal of Food Engineering*, 63(2), 163–170. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(03\)00295-4](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(03)00295-4)
- Sert, D., Akin, N., & Aktumsek, A. (2014). Lipolysis in Tulum cheese produced from raw and pasteurized goats' milk during ripening. *Small Ruminant Research*, 121(2), 351–360.
- Shibamoto, T. (1980). Mutagenicity of 1, 5 (or 7)-dimethyl-2, 3, 6, 7-tetrahydro-1H, 5H-biscyclopentapyrazine obtained from a cyclotene/ammonia browning model system. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 28(4), 883–884.
- Skarpeid, H.-J., Moe, R. E., & Indahl, U. G. (2001). Detection of mechanically recovered meat and head meat from cattle in ground beef mixtures by multivariate analysis of isoelectric focusing protein profiles. *Meat Science*, 57(3), 227–234.
- Slačanac, V., Hardi, J., Pavlović, H., Vlainić, M., & Lučan, M. (2005). Alteration of fatty acids content during cow's and goat's milk fermentation with ABT-2 culture. *Mljekarstvo: Časopis Za Unaprijeđenje Proizvodnje I Prerade Mlijeka*, 55(2), 113–124.
- Tratnik, L., & Rogelj, I. (1998). *Mlijeko-tehnologija, biokemija i mikrobiologija*. Hrvatska mljekarska udruga.

- Tudor Kalit, M., Kalit, S., Delaš, I., Kelava, N., Karolyi, D., Kaić, D., ... Havranek, J. (2014). Changes in the composition and sensory properties of Croatian cheese in a lamb skin sack (Sir iz mišine) during ripening. *International Journal of Dairy Technology*, 67(2), 255–264.
- Valero, E., Villamiel, M., Miralles, B., Sanz, J., & Martinez-Castro, I. (2001). Changes in flavour and volatile components during storage of whole and skimmed UHT milk. *Food Chemistry*, 72(1), 51–58.
- Zhang, X. Y., Guo, H. Y., Zhao, L., Sun, W. F., Zeng, S. S., Lu, X. M., Ren, F. Z. (2011). Sensory profile and Beijing youth preference of seven cheese varieties. *Food Quality and Preference*, 22(1), 101–109. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2010.08.007>

3 Conclusion

Cette étude montre que les analyses instrumentales peuvent donner de bonnes performances prédictives de l'appréciation hédonique du consommateur vis-à-vis du Maroilles. Concernant la prédiction des caractéristiques sensorielles, tous les descripteurs sensoriels n'ont pas pu être prédits correctement à partir des paramètres physicochimiques et microbiologiques mesurés : une bonne prédiction a pu être établie pour seulement huit descripteurs, quatre descripteurs de texture (collant, lisse, sec et crayeux), deux aromatiques (goût fermier et odeur de crème), l'amertume et un d'apparence (couleur du cœur).

Les acides gras apparaissent comme des paramètres importants dans la prédiction de l'appréciation hédonique et des descripteurs sensoriels, parce que leur rôle est primordial dans le processus d'affinage. Ils sont responsables du développement des saveurs du Maroilles et de sa texture particulière. Néanmoins, une étude plus poussée sur la possibilité de prédiction, avec un plus grand nombre de Maroilles, est nécessaire pour vérifier l'adéquation d'un bon modèle prédictif et pouvoir effectuer une cross-validation. Cette méthode pourrait servir aux producteurs afin de mieux connaître les besoins des clients et de répondre à leurs exigences.

Même si les paramètres microbiologiques n'apparaissent pas dans ce modèle pour prédire les caractéristiques sensorielles et l'appréciation des Maroilles, nous avons vu, dans le chapitre 1, que ces paramètres microbiologiques obtenus par méthodes pasteuriennes permettaient de discriminer les Maroilles fermiers des Maroilles industriels. Est-ce que ces deux types de Maroilles présentent des bactéries spécifiques ? Pour répondre à cette question, il reste à identifier de façon précise les bactéries présentes dans chaque type de Maroilles.

**CHAPITRE 3. L'IDENTIFICATION PAR
SPECTROMÉTRIE DE MASSE MALDI-TOF DE
BACTÉRIES LACTIQUES ISOLÉES DU MAROILLES**

1 Introduction

La caractérisation de la flore microbienne repose sur l'isolement des micro-organismes, leur culture et leur identification selon des critères morphologiques (aspect visuel, observation microscopique...), des caractères biochimiques (coloration de Gram, catalase, mobilité ou galerie API) ou une identification génétique (ADN, ARN) (Jany and Barbier, 2008). Ces méthodes nécessitent des milieux de culture, des conditions de travail spécifiques et beaucoup de temps pour les différentes étapes d'identification. L'utilisation de nouvelles méthodes d'identification plus rapides et moins coûteuses reste un objectif à atteindre pour remédier aux différentes contraintes des méthodes conventionnelles. Dans ce chapitre, nous avons identifié les bactéries lactiques cultivables dans un Maroilles fermier fabriqué à base de lait cru et un Maroilles industriel fabriqué à base de lait pasteurisé en utilisant la spectrométrie de masse (MS) de type matrix-assisted laser desorption/ionisation (MALDI) time of flight (TOF). L'approche par profilage MALDI-TOF-MS constitue un nouvel outil pour l'identification rapide des bactéries fromagères et sa validation sera réalisée par la comparaison avec la technique de biologie moléculaire classiquement utilisée (ADNr 16s). L'approche MALDI-TOF-MS est une technique basée sur l'acquisition d'une empreinte spectrale (dans la gamme de masse 2000 – 20000 Da) des rapports m/z des protéines majoritaires d'un microorganisme. Ces empreintes spectrales (=profil en masse) dépendent des genres et de l'espèce des micro-organismes (Freiwald and Sauer, 2009).

Ces dernières années de nombreuses études ont utilisé l'approche MALDI-TOF-MS pour l'identification des micro-organismes en milieu hospitalier (Almuzara et al., 2015; Bizzini and Greub, 2010; Dubois et al., 2010; Marklein et al., 2009; Meex et al., 2012; Spanu et al., 2012; van Veen et al., 2010), en environnement aquatique (Emami et al., 2015, 2016; Lee et al., 2015; Popović et al., 2017; Salla and Murray, 2013) ou pour des applications pharmaceutiques (Kemptner et al., 2010; Rao et al., 2017; Urbaniak et al., 2017). Au final, cette technique apparaît robuste, pleine d'avantages par rapport aux techniques utilisées auparavant sans pour autant être exempte d'inconvénients. Néanmoins son utilisation dans l'industrie agroalimentaire reste encore limitée.

2 Article

Le résultat de l'étude se présente sous la forme d'un article de recherche publié dans *International Journal of Food Microbiology*.

MALDI-TOF mass spectrometry for the identification of lactic acid bacteria isolated from a French cheese: the Maroilles

Menouar NACEF^{1,2}, Mickaël CHEVALIER², Sylvie CHOLLET¹, Djamel DRIDER² and Christophe FLAHAUT^{3*}

Institut Charles VIOLLETTE (ICV) EA 7394,¹ ISA, F-59000 Lille, France ; ² Univ Lille, F-59000 Lille, France and ³ Univ Artois, F-62307 Lens, France.

* CORRESPONDING AUTHOR FOOTNOTE

Dr. Christophe FLAHAUT

Tel.: +33 3 21 79 17 80

Fax: +33 3 21 79 17 00

E-mail address: christophe.flahaut@univ-artois.fr

Key words: mass spectrometry, MALDI-TOF MS, bacteria identification, lactic acid bacteria, cow-milk cheese.

Running title: MALDI-TOF-MS-based identification of Maroilles' LAB

Abbreviations:

Colony forming unit; CFU

Lactic acid bacteria; LAB

Matrix-assisted laser desorption/ionisation-time of flight mass spectrometry; MALDI-TOF-MS

Mass over charge; (m/z)

ABSTRACT

In this study we identified the cultivable population of mesophilic lactic acid bacteria (LAB) from a French cheese Maroilles made either with raw or pasteurized milk using MALDI-TOF mass spectrometry (MS). Samples from rind and heart of Maroilles cheese were used, the LAB were selected on MRS agar at 30 °C and 197 Gram- positive and catalase-negative strains were subjected to identification by MALDI-TOF MS profiling. All strains were unambiguously identified: 105 strains from Maroilles made with raw milk (38 on the rind and 67 in the heart) and 92 strains from Maroilles made with pasteurized milk (39 on the rind and 53 in the heart). MALDI- TOF MS identification allowed identification of three genera belonging to LAB including *Lactobacillus*, *Enterococcus* and *Leuconostoc*. *Lactobacillus* was the most represented genus with seven species: *Lactobacillus plantarum* (*L. plantarum*), *L. paracasei*, *L. curvatus*, *L. rhamnosus*, *L. fructivorans*, *L. parabuchneri*, and *L. brevis* found in Maroilles made with both kind of milk. The correlation between the 16S rDNA-based identification performed on selected strains and those obtained by MALDI-TOF-MS demonstrates that this fast, economically affordable, robust and re- liable method for bacteria characterisation stands as an attractive alternative to the commonly-used methods and its application in food industry is discussed.

1. Introduction

The Maroilles is a soft French cheese with a washed rind, produced in the Nord and Aisne departments, more accurately in a region named Thiérache and benefits from a protected designation of origin in Europe. This label is granted to traditional agricultural products and describes foodstuffs that are produced, processed and prepared in a given geographical area using recognized know-how. The Maroilles has the protected designation of origin status since 1996. The earliest traces of the Maroilles cheese date back to the 7th century, afterwards the making method was improved by monks from the Maroilles abbey at the end of the 10th century. Traditionally, the Maroilles is a craft cheese elaborated from raw milk. However, the use of pasteurized milk was developed with the emergence of industrial processes and the increase of health risks due to the potential presence of pathogens. Four ingredients are required to produce the Maroilles cheese: milk, rennet, salts and microorganisms (including a consortium of yeasts and bacterial strains, provided by Danisco®, inoculated during the first stage of production process and eventually in subsequent washing steps during ripening). Classically, the milk protein coagulation is carried out by rennet addition. The curd is cut, broken up to obtain desired particle sizes and molded into squares. The molds are then turned back every few hours for 2 days for draining the whey excess. During the ripening period, each cheese is individually and periodically washed (4 to 6 times) with brine or pure salts to trigger the formation of the crust. The Maroilles cheese is then moved to the maturing cellars (temperature between 9 and 16 °C and humidity close to 90%), where the cheese ripening is extended for up to four months.

Microbiological studies aiming at highlighting the microbial content of the Maroilles cheese are seldom undertaken although a recent report unveiled the predominance of Gram-positive bacteria in the microbiota of red-smear cheeses such as Maroilles, Munster, Epoisse, Livarot and Pont-l'Évêque (Delcenserie et al., 2014). In 2013, Gori et al. showed that the surface bacterial microbiota on the farmhouse cheeses were dominated by *Corynebacterium spp.* and/or *Brachybacterium spp.* *Brevibacterium spp.* was found to be subdominant compared to other bacteria, and no *Brevibacterium spp.* was found on the cheese from the industrial dairy, even though *Brevibacterium linens* (*B. linens*) was used as surface-ripening culture (Gori et al., 2013). The orange-red crust of these cheeses is obtained by the action of *B. linens* which is commonly called ‘the red ferment’. This bacterium was considered for a long time as the lone major microorganism on the surface of this kind of cheese. However recent studies showed that

a mixture of two species, *B. linens* and the new species *B. aurantiacum*, which forms pale yellow to deep orange or brown colonies, are responsible for the orange to red colours of many smear-ripened cheeses. Moreover other species of bacteria were found, including *Arthrobacter arilaitensis* (*A. arilaitensis*) and *A. bergerei*, originally isolated from Reblochon and Camembert cheeses (Cogan, 2011). This study aimed at portraying the LAB content of Maroilles cheese from various industrial and craft manufactures to assess the impact of the production process on the LAB population.

The large diversity of microorganisms and the successive discoveries in several science fields (physics, biochemistry, (micro) biology and medicine) were the main drivers of development and progress of identification methods dedicated to microorganisms. The phenotypic characterization of microorganisms was originally performed using macroscopic/microscopy methods, culture-based methods and physiological/biochemical methods. Even if some of these methods are still used today for economical or regulatory reasons, the recent identification methods are nowadays based on cellular, immunological and molecular techniques. Among these latter, the tools dedicated to nucleic acid analysis are the most developed (e.g. G/C ratio, enzyme restriction use, PCR-based techniques, hybridization-based techniques, isothermal amplification, sequencing-based techniques...) and the more widely used in the world (Scheler et al., 2014; Yu et al., 2015). Main criteria for the choice of bacterial identification method are often (i) the sensitivity and specificity of identification tests used, (ii) their robustness and (iii) the cost per analysis. In this context, bacterial identification based on matrix-assisted laser desorption/ionisation (MALDI)-time of flight (TOF) mass spectrometry (MS) is becoming a method of choice for determining the genus, species and even subspecies of bacterial isolates (Carbannelle et al., 2012; Dušková et al., 2012). Seemingly, this technology is also achievable for other microorganisms (e.g. yeasts, fungi,...) from various sources (Chalupová et al., 2014). Initially developed for the academic re- search area, the use of the MALDI-TOF-MS to obtain the molecular fingerprint of a given microorganism is now widely spread in activity sectors such as the human and animal health, the environment, the pharmaceutical but still remains underused in food industries.

MS-specialists have developed many kinds of ion sources, of mass analysers and of detectors to measure the molecular masses of various molecules. Even if several kinds of mass spectrometers are able to analyse complex mixtures of microorganism proteins (Hynek and Hochel, 2013), the MALDI-TOF mass spectrometer has emerged as the tool of choice for (i) the adequacy between the solid nature of bacterial samples and the MALDI ion source, (ii) the

absence of complex, critical sample preparation steps (even if numerous standard operating protocols are now available), (iii) a rapid acquisition time of directly-usable MS- data and (iv) a low financial cost per analysis (see (Freiwald and Sauer, 2009; Welker, 2011) for details). A MALDI-TOF mass spectrometer is composed of an ion source for solid samples coupled to a mass analyser that sorts the ions according to their time-of-flight to travel a given distance in a free-field environment.

This work aimed at reporting the mesophilic LAB diversity for four types of samples: heart and rind of both raw and pasteurized milk based Maroilles cheese. We compared the LAB content in the heart and the rind of French Maroilles made with raw and pasteurized milk using the MALDI-TOF MS method. To strengthen the potency of this technology, we conducted a correlation analysis between the MALDI- TOF-MS data and the 16S rDNA identification results performed from selected strains.

2. Materials and methods

2.1. Cheese samples and sampling

Two commercially available Maroilles cheeses of large size (720 g), made with raw- and pasteurized-milk, were purchased and sampled as described below. The cheeses were, on average, 65-day old post-production which is slightly before the average “consumption age” of 70 days for an expiry date of 120 days. The hearts and rinds of cheeses were analyzed separately. Rind sampling was performed on the first 5 mm deep of each cheese side. Heart sampling was carried out on the remaining part of the cheese at a depth of N 5 mm. The 25 g samples were homogenized with a stomacher (BagMixerR 400, Interscience, ST Nom, France) and used for the microbiological analysis.

2.2. Growth conditions and lactic acid bacteria isolation

Twenty five grams (25 g) of samples were homogenized in 225 mL of 0.9% sterile saline solution, then serial dilutions (10^{-1} to 10^{-7}) were performed and 1 mL of each dilution was plated onto MRS medium (VWR international, Fontenay-sous-Bois, France) agar plates. Afterwards, plates were incubated for 72 h at 30 °C and then inspected. The selection of mesophilic colonies were based on the characteristics shape and colour of *Lactobacilli* and *Leuconostoc* genera from countable plates (30 to 300 CFU) and were purified by re-streaking on the MRS medium.

2.3. MALDI-TOF MS profile acquisition

Solid samples of a same isolated bacterial strain were loaded three times onto ground steel MALDI target according to the manufacturer's instructions (Bruker Daltonics, Bremen, Germany). Briefly, 3 CFU from a bacterial strain were taken off from agar plates with a 10 μ L pipet tip, smeared onto the target, dried at room temperature and overlaid with 2 μ L of matrix solution (10 mg/mL of α - cyano-4-hydroxycinnamic acid in acetonitrile:water:trifluoroacetic acid, 50:47.5:2.5 v/v/v).

Samples were automatically analyzed using a MALDI-TOF mass spectrometer (AutoflexSpeed from Bruker Daltonics) running Flexcontrol 3.4 software. Calibration of mass spectrometer was achieved with the Bruker's bacterial test standard (Bruker Daltonics). This calibration kit contains a typical protein extract of *E. coli* DH5 alpha spiked with two additional pure proteins (RNase A and myoglobin) to cover an overall mass range from 4 to 17 kDa. For each loaded sample, the MS- signals were acquired in positive linear mode in the 2000–20,000 Da m/z range by summing 480 laser-shot spectra, according to the manufacturer's automatic method MBT FC.par (voltage values of ion sources #1 and #2 set as 19.5 and 18.30 keV, respectively; lens tension = 6.9 keV; pulsed extraction = 280 nsec; laser intensity between 40 and 60%).

2.4. Bacteria identification

2.4.1. MALDI-TOF-MS bacterial identification

Mass spectra were processed using BioTyper software (version 3.0; Bruker Daltonics) running with the BioTyper database version DB- 5989, containing 5989 reference MALDI-TOF MS profiles (5298 of bacteria, 626 of yeasts and 65 of filamentous fungi). Matching between experimental MALDI-TOF MS profiles obtained from bacteria isolates and the reference MALDI-TOF MS profiles is expressed by BioTyper according to a Log (Score) and an associated-colour code (green, yellow and red). Briefly, a BioTyper Log (score) exceeding 2.3 (green colour) indicates a highly probable identification at the species level. A Log (score) between 2.0 and 2.3 means highly probable identification at the genus level (green colour) and probable identification at the species level. A Log (score) between 1.7 and 2.0 (yellow colour) implies only probable genus identification, while score value under 1.7 (red colour) means no significant similarity between the unknown profile and any of those of the database. Dendrogram of identified strains was performed with the BioTyper MSP Dendrogram Creation Standard Method (version 1.4) using the default settings. The mass spectra triplicates of 197 strains were combined in 197 mass spectrum profiles (MSP) and used to generate the

dendrogram. The default settings were as follow: the distance measure was set as correlation; the linkage was set as average; the score oriented dendrogram was selected, the score threshold value for single organism was 300 and the score threshold value for related organisms was 0.

2.4.2. DNA extraction and 16S rDNA PCR

One isolate of each cluster identified by MALDI-TOF-MS was selected for 16S rDNA gene sequencing. DNA was extracted from O/N culture obtained in MRS at 30 °C with the Promega Wizard® Genomic DNA purification kit according to the manufacturer recommendations. The 16S rDNA was amplified using two universal primers S1 (5'-AGAGTTTG ATCMTGGCTCAG-3') and S2 (5'-GGMTACCTTGTTACGAYTTC-3') yielding 1200 to 1500 bp PCR products. The PCR mixture was performed according to the manufacturer's instructions (DreamTaq, PCR Master Mix, Thermo Scientific, Waltham, MA, USA). The following PCR conditions were used: initial denaturation at 94 °C for 4 min, followed by 35 cycles at 94 °C for 1 min, 52 °C for 1 min and 72 °C for 1 min and a final elongation step at 72 °C for 10 min. The PCR products were analyzed by agarose (1%) gel electrophoresis and purified with the GeneJET PCR purification kit (Thermo Scientific). PCR product sequencing was performed by Eurofins Genomics (Germany). The partial 16S rDNA gene sequences were aligned to the NCBI database in order to identify the genus. Phylogenetic tree was built using MEGA7 program package (Kumar et al., 2016).

2.5. Statistical analysis

All experiments were carried out in triplicate and LAB data were expressed as a mean with standard error. Differences between raw and pasteurized milk and heart and rind samples were considered significant for a p-value ≤ 0.05 calculated using two-way ANOVA (milk and sampling point) (XLSTAT, Version 2015.4.01.21575).

3. Results

3.1. LAB counts in the Maroilles cheeses revealed slight differences

The mesophilic LAB population of Maroilles made with raw or pasteurized milk was estimated by plate counting on MRS agar medium. LAB colonies appeared with characteristic shape and colour of *Lactobacilli* and *Leuconostoc* genera which are generally round, with translucent or white colour and various aspects. Although the Maroilles cheese made with raw milk contained a slightly more important amount of LAB (rind: $1.33 \cdot 10^7 \pm 0.57$ CFU/g and heart: $7.33 \cdot 10^6 \pm 3.79$) compared to the cheese made with pasteurized milk (rind: $9.23 \cdot 10^6 \pm 0.6$ CFU/g and heart:

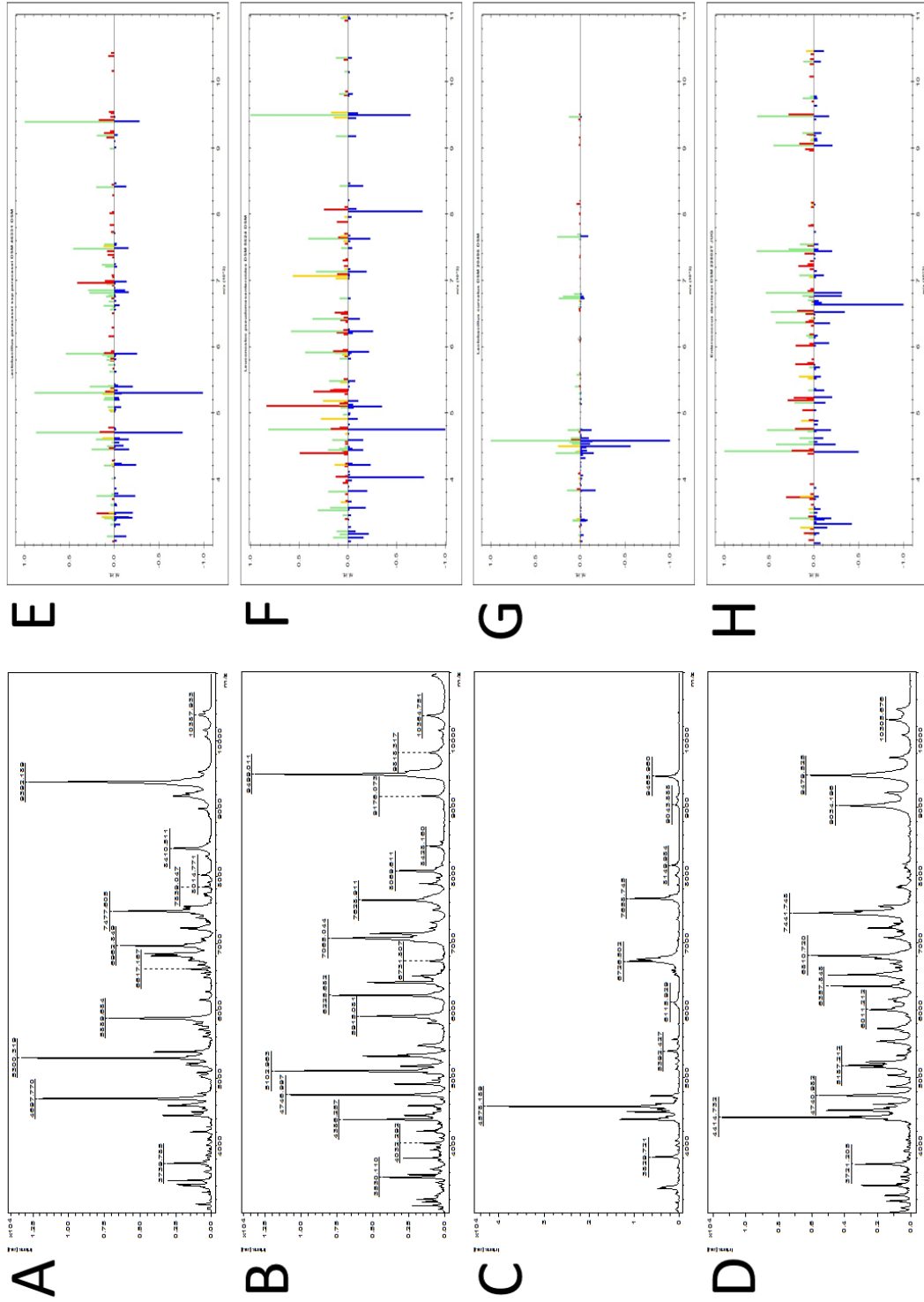


Fig. 1. Raw MALDI-TOF MS profiles (A, B, C and D panels) and the bacteria identifications obtained from 3 CFU of distinct strains (E, F, G and H panels). The identification log(scores) were 2.55 (*Lactobacillus paracasei* ssp. *paracasei*; panel E), 2.32 (*Leuconostoc pseudomesenteroides*; panel F), 2.47 (*Lactobacillus curvatus*; panel G) and 2.24 (*Enterococcus devriesii*; panel H).

$6.2 \cdot 10^6 \pm 2.08$ CFU/g), this difference was not statistically significant ($p \geq 0.05$). However, the LAB population in the rind tends to be higher than in the heart ($p = 0.053$).

3.2. MALDI-TOF MS identification led to typical signatures for LAB strains

Different LAB colonies were identified by MALDI-TOF MS. All LAB strains yielded MALDI-TOF mass spectra with protein/peptide mass signals within the 2–12 kDa mass range. Fig. 1 shows the raw MALDI-TOF MS profiles (black & white panels) and the bacteria identification obtained from 3 CFU of distinct strains. As illustrated in Fig. 1A, B, C and D, the raw MALDI-TOF MS profiles clearly differ in terms of number and intensity of mass signals. The obtained MALDI-TOF MS profiles were then compared to the reference spectra of the BioTyper database and their similarity was expressed by a BioTyper Log (score). The colour panels (Fig. 1E, F, G and H) illustrate, as stick spectra, the matching of the experimental MALDI-TOF MS profile of strain CFU (top half coloured panels) and the matching reference MALDI-TOF MS profiles of the BioTyper database (bottom half coloured panels). The green, yellow and red sticks in the top half coloured panels indicate that the peak matching (intensity and m/z value) between experimental and database reference MALDI-TOF MS profiles is excellent, medium and low, respectively. The relevance of the matching is evaluated by the Log (score) as mentioned in the legend of the Fig. 1. The Log (score) takes into account the number of matching peaks, the total number of peaks, the peak weight representing species specificity and a correlation factor related to the matching peak intensity (Cherkaoui et al., 2010). In fine, three different genera of LAB including *Leuconostoc pseudomesenteroides*, *Enterococcus devriesei* and 7 species belonging to the *Lactobacillus* genus; e.g. *L. plantarum*, *L. paracasei*, *L. curvatus*, *L. rhamnosus*, *L. fructivorans*, *L. parabuchneri*, *L. brevis* were identified.

The 197 LAB colonies (105 and 92 from Maroilles made with raw and pasteurized milk, respectively) isolated on MRS agar plates were identified by MALDI-TOF-MS (158 isolates (80.20%) with Log (score) ≥ 2.3 ; 34 isolates (17.26%) with Log (score) ≤ 2.3 and ≥ 2.0 ; 5 isolates (2.54%) with Log(score) ≤ 2.0 and ≥ 1.7 (Supplemental data Table 1). Seventy seven isolates of the rind of the two types of Maroilles were identified (38 and 39 in the cheese made with raw milk and pasteurized milk, respectively) as 4 species of *Lactobacillus* genus (*L. paracasei*, *L. curvatus*, *L. fructivorans*, *L. brevis*). However *L. brevis* was identified only on the rind of cheese made with raw milk. The 120 isolates of cheese heart were identified (67 and 53 in the cheese made with raw milk and pasteurized milk, respectively) as 3 different genera of LAB, including *Leuconostoc*, *Enterococcus* and 5 species belonging to the *Lacto-* bacillus

genus (*L. plantarum*, *L. paracasei*, *L. rhamnosus*, *L. parabuchneri*, *L. brevis*). Notably, the species *E. devriesei* and *L. rhamnosus* were isolated only from the heart of cheese made with raw milk. As depicted in Fig. 2, *L. parabuchneri* was isolated only from the heart of cheese made with pasteurized milk. To strengthen these MALDI-TOF-MS data, we performed the identification of 10 selected strains by 16S rDNA sequencing and concluded to a perfect correlation with the MALDI-TOF MS based identifications performed on the same strains (Supplemental data Table 2). Finally, the MSP-based dendrogram (Fig. 3) of the 197 LAB strains constructed using the MALDI BioTyper explorer module illustrates the hierarchical clustering of strains from the Maroilles cheeses and provides the relationships of similarity among each of clusters detected. The dendrogram based on the bacterial identification obtained following 16S rDNA sequencing is given as Supplemental data 3.

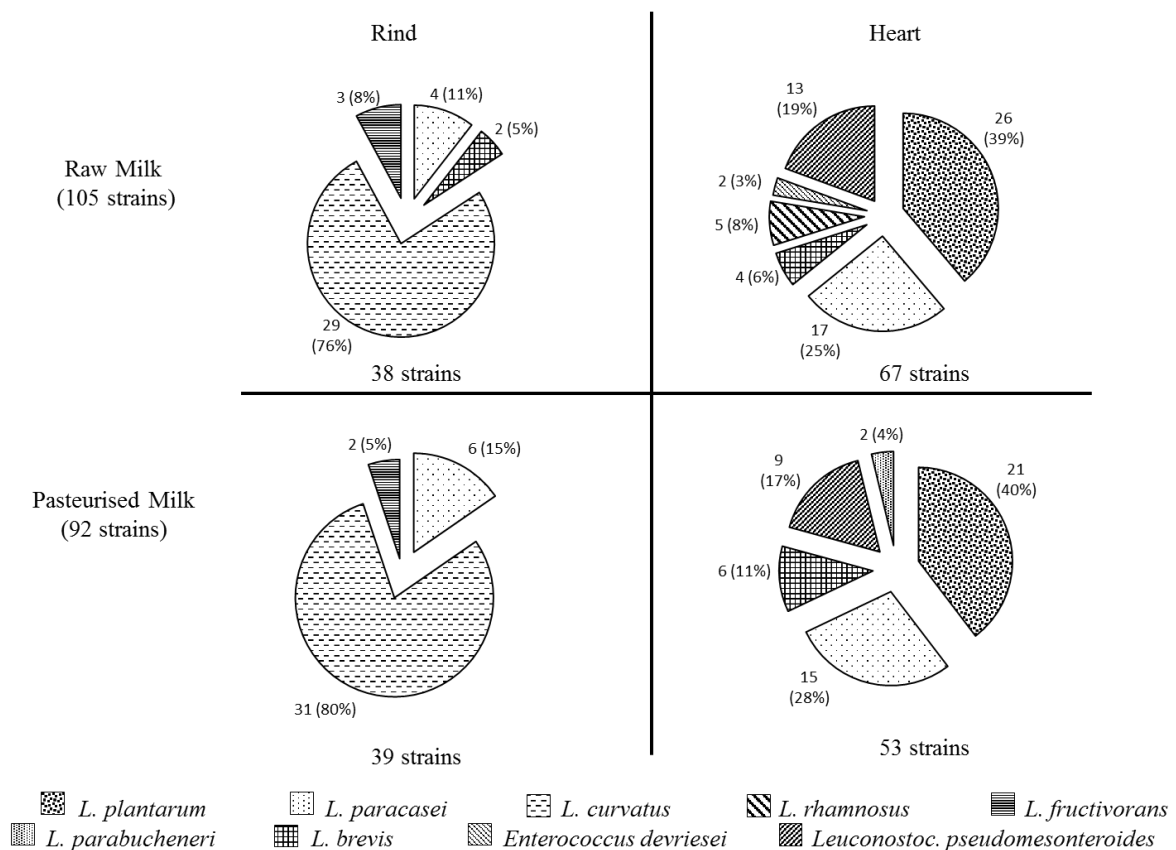


Fig. 2. Repartition of LAB strains on the rind and in the heart of cheeses made with raw and pasteurized milk.

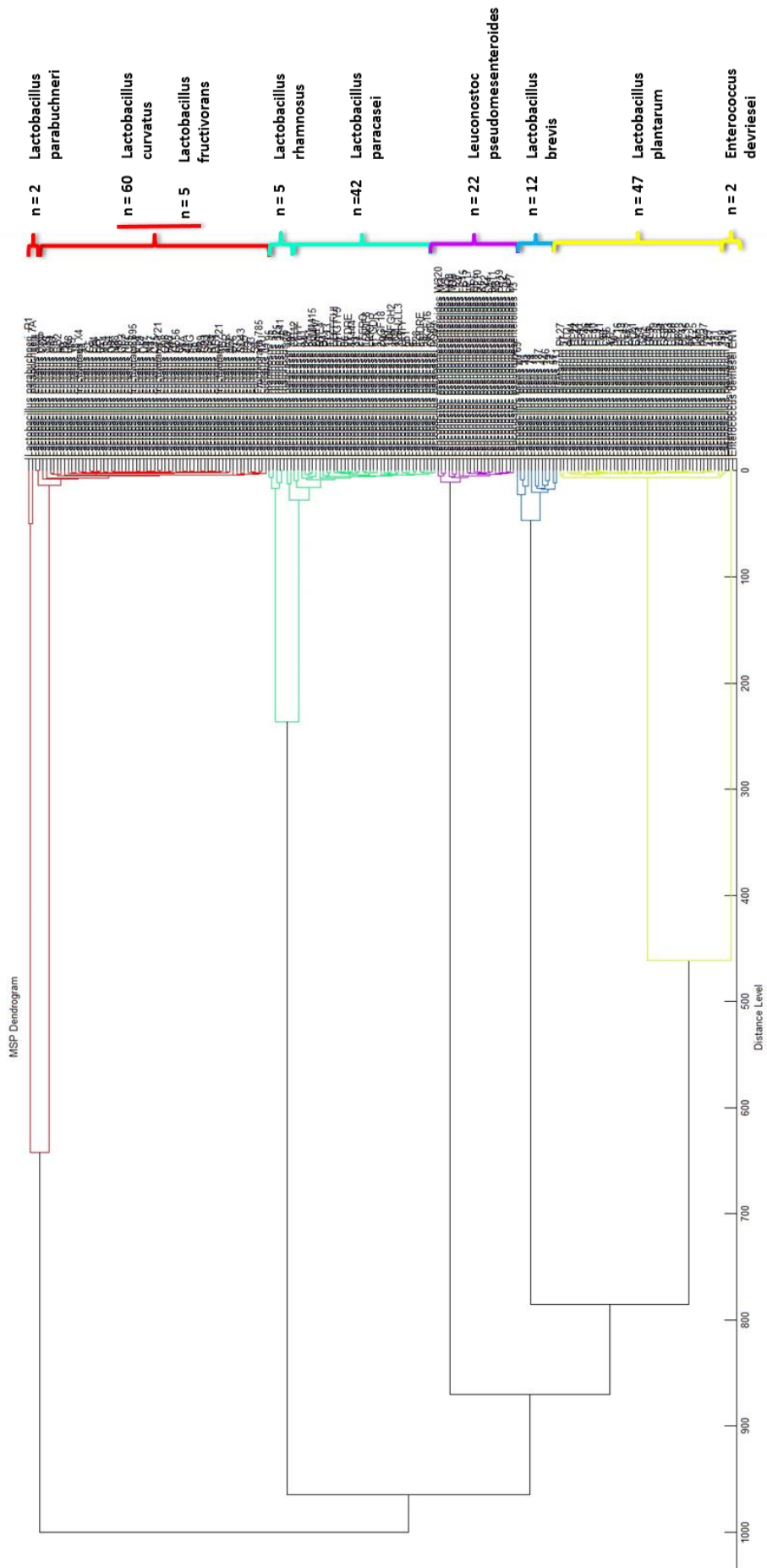


Fig. 3. Dendrogram illustrating the hierarchical clustering of the 197 strains identified by MALDI-TOF-MS. The dendrogram was created using the BioTyper MSP Dendrogram Creation Standard Method, version 1.4 with default settings as follow: Distance measure: correlation; Linkage: average, Score oriented dendrogram: selected; Score threshold single: organism—300, related—0.

4. Discussion

4.1. Lab content of raw *versus* pasteurized milk made Maroilles reveals usual and unusual trends

Pasteurization of milk does not affect the total mesophilic LAB number in comparison to the value obtained from the cheese made with the raw milk since no significant difference in the number of CFU/g between both kinds of cheese ($p < 0.05$) was observed. Nevertheless, many LAB species were found in both kinds of Maroilles cheeses, e.g. *L. plantarum*, *L. paracasei*, *L. curvatus*, *L. rhamnosus*, *L. fructivorans*, *L. parabuchneri*, *L. brevis*. As previously reported, some Lactobacilli are present in the natural microflora of dairy products and arise from animals, farms and dairies: *L. casei ssp. casei*/*L. paracasei ssp. paracasei*, *L. rhamnosus*, *L. plantarum*, *L. fermentum*, *L. brevis*, *L. buchneri*, *L. curvatus*, *L. acidophilus* and *L. pentosus* (Corbo et al., 2001; Demarigny et al., 1997; Gobbetti et al., 2002; Jordan and Cogan, 1993; López and Mayo, 1997; Medina et al., 2001). *Lactobacilli*, especially *L. curvatus*, represents a type of milk microbiota that is resistant to pasteurization (Martley and Crow, 1993). Moreover, the presence of LAB could be also attributed to contamination occurring after pasteurization (Martley and Crow, 1993).

However, pasteurization of milk could affect only specific species as some species were only identified in raw milk cheese or pasteurized milk cheese. Notably, the *E. devriesei* species was identified by MALDI-TOF-MS profiling only in the Maroilles cheese made from raw milk likely due to its thermal sensitivity to the pasteurization conditions (temperature and time) (Svec et al., 2005). Moreover, LAB diversity is higher in the heart of the cheese because LAB are well adapted to growth conditions of low pH, high NaCl concentration, anaerobiosis and lack of fermentable carbohydrates (Montel et al., 2014). Interestingly, we found *L. paracasei* and *L. plantarum* in the heart of both cheeses, species which were described as the most frequently encountered species in the camembert cheese (Henri-Dubernet et al., 2008). Elsewhere *L. plantarum* could become the dominant LAB species in several types of cheese during ripening process (Hynes et al., 2003; Rantsiou et al., 2008; Sánchez et al., 2005). In view of the manufacturing process, the salt-tolerance of *L. curvatus* (Belfiore et al., 2013) can explain its presence only on the rind of cheeses studied in this work but also demonstrates that all other species isolated from the rind are tolerant to salt- washing process.

4.2. Analysis methods

In a general manner, identification of Lactobacilli from cheeses relies on methods based on phenotypic features and/or on physiological and biochemical criteria. However these complex

and time-consuming methods can over- or underestimate the microbiological diversity of a food ecosystem (Ercolini et al., 2001). In contrast the nucleic acid- based molecular approaches have proven to be powerful tools to inventory the microbial diversity in food samples in spite of limitations, including the possibility of drawbacks related to DNA or RNA isolation, amplification and cloning (Coeuret et al., 2003).

The recent soaring of bacteria identification based on MALDI-TOF MS profiling relies on several advantages ranging from high throughput, robustness, recognizing-based method, ultrafast tendency test, ease of use to low cost per test. MALDI-TOF-MS profiling can be easily implemented as routine analysis (Pavlovic et al., 2013) and supplements the phenotypic methods for fast identification in the first step of characterization of the culturable microbial community in dairy products. This fast, cheap, robust and reliable method of bacteria identification stands as an attractive alternative to biochemical and even molecular biology-based identification approaches requiring no extraction of nucleic acids and PCR or sequencing steps (Dec et al., 2014; Vithanage et al., 2014). Regarding the identification of *Lactobacillus* species, Dušková et al. (2012) demonstrated the higher success rates of species level assignment using MALDI-TOF MS approach (93%) than PCR (77%) (Dušková et al., 2012). In some cases, MALDI-TOF MS profiling of bacteria allows identification of bacteria to subspecies level (Carbonnelle et al., 2011). There in, the MALDI-TOF-MS method presented as affordable, sustainable, robust method could warrant a better management of microorganism identification. However, the MALDI-TOF-MS based bacterial identification is not exempt of drawbacks: (i) restricted application fields without prior culture and fresh culture (b 24 h) of isolated microorganisms are required (because the commercially available database has been constructed with fresh cultures); (ii) a method of low analytical sensitivity ($\pm 10^5$ – 10^6 bacteria/deposit) combined to a lack of susceptibility information; (iii) a sample preparation method essential and crucial; (iv) a difficult but not impossible discrimination of microorganisms phylogenetically very close (Paauw et al., 2015) and finally (v) a too restricted content of the MS-profile database. Besides, the need of a global quality control program of the method and that the principle of identification relies on databases distinct from one manufacturer to another act as both strengths and limitations. The setup of a single, worldwide data- base of bacterial MALDI-TOF-MS reference spectra of a larger set of microbial strains and/or of a dedicated database for food industry correlated with genomic data will be a key progress in the spreading of this bacterial identification method.

5. Conclusions

The LAB diversity in Maroilles cheese is directly related to the treatment steps of the milk, although the number of CFU/g of LAB is not directly affected by this treatment. Here, the use of MALDI-TOF MS pro- filing method for the LAB identification allowed to identify, with high match values, different LAB strains belonging to different genera and even discriminate, with statistically significant identification scores, phylogenetically close species into the same genus. Remarkably, the genera diversity of LAB is more important in the heart of the cheese made with raw milk with the presence of *E. devriesei*. Interestingly, *Lactobacillus* is the dominant LAB genus on the rind and in the heart of both kinds of cheeses. However, the species found are slightly different in the heart and the rind: *L. rhamnosus* was only found in the heart of raw milk Maroilles cheese while *L. curvatus* was found only on the rind of both cheeses.

Fast microbial identification is becoming increasingly necessary in industry to improve microbial control, reduce biocide consumption, to avoid cost-intensive recall of contaminated products and damage to brand reputation. While MALDI-TOF-MS has revolutionized speed and precision of microbial identification for clinical isolates, in contrast few performance studies have been published so far focusing on suitability for particularly industrial applications. The MALDI-TOF MS based microbial identification is a molecular approach that bridges the gap between the reliability of test results produced from a biochemical-based phenotypic system and a genotypic identification system. The MALDI-TOF- MS-based bacteria identification appears as a method approximately 24 h shorter than other methods, cost-effective, robust, reliable, evolutive and well suited for data management. Concomitantly, certain aspects, depending directly on the method principle, are both strengths and weaknesses (e.g. the dependence to a database, the need of a global quality control program, the inability to identify non-viable microorganisms having their DNA in the sample). In all cases, the real limitations (e.g. the need of fresh cultures, no susceptibility information, a challenging discrimination between phylogenetically closely related strains) of this bacterial identification method should be considered and addressed.

Supplementary data to this article can be found online at <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2016.07.005>.

Acknowledgements

We are indebted to Dr. Florie DESRIAC for her helpful assistance and Dr. Delphine Caly for the critical reading of the manuscript. The MALDI- TOF MS profiling experiments were

performed on the REALCAT platform issued from French governmental subvention administrated by the French National Research Agency (ANR) within the frame of the ‘Future Investments’ program (ANR-11-EQPX-0037). The Nord-Pas-de- Calais Region and the FEDER are also acknowledged for their financial contributions to the acquisition of equipment.

References

- Belfiore, C., Raya, R.R., Vignolo, G.M., 2013. Identification, technological and safety characterization of *Lactobacillus sakei* and *Lactobacillus curvatus* isolated from Argentinean anchovies (*Engraulis anchoita*). SpringerPlus 2, 257. doi:10.1186/2193-1801-2-257
- Carbonnelle, E., Grohs, P., Jacquier, H., Day, N., Tenza, S., Dewailly, A., Vissouarn, O., Rottman, M., Herrmann, J.-L., Podglajen, I., Raskine, L., 2012. Robustness of two MALDI-TOF mass spectrometry systems for bacterial identification. Journal of microbiological methods 89, 133–6. doi:10.1016/j.mimet.2012.03.003
- Carbonnelle, E., Mesquita, C., Bille, E., Day, N., Dauphin, B., Beretti, J., Ferroni, A., Gutmann, L., Nassif, X., 2011. MALDI-TOF mass spectrometry tools for bacterial identification in clinical microbiology laboratory. Clinical Biochemistry 44, 104–109. doi:10.1016/j.clinbiochem.2010.06.017
- Chalupová, J., Raus, M., Sedlářová, M., Šebela, M., 2014. Identification of fungal microorganisms by MALDI-TOF mass spectrometry. Biotechnology Advances 32, 230–241. doi:10.1016/j.biotechadv.2013.11.002
- Cherkaoui, A., Hibbs, J., Emonet, S., Tangomo, M., Girard, M., Francois, P., Schrenzel, J., 2010. Comparison of Two Matrix-Assisted Laser Desorption Ionization-Time of Flight Mass Spectrometry Methods with Conventional Phenotypic Identification for Routine Identification of Bacteria to the Species Level. Journal of Clinical Microbiology 48, 1169–1175. doi:10.1128/JCM.01881-09
- Coeuret, V., Dubernet, S., Bernardeau, M., Gueguen, M., Vernoux, J., 2003. Isolation, characterisation and identification of lactobacilli focusing mainly on cheeses and other dairy products. Le Lait 83, 269–306. doi:10.1051/lait:2003019
- Cogan, T.M., 2011. Bacteria, beneficial *Brevibacterium linens*, *Brevibacterium aurantiacum* and other smear microorganisms, in: Fuquay, J.W., Fox, P.F., McSweeney, P. (Eds.), Encyclopedia of Dairy Sciences. pp. 395–400.
- Corbo, M.R., Albenzio, M., De Angelis, M., Sevi, A., Gobbetti, M., 2001. Microbiological and biochemical properties of canestrato pugliese hard cheese supplemented with bifidobacteria. Journal of dairy science 84, 551–61. doi:10.3168/jds.S0022-0302(01)74507-9
- Dec, M., Urban-Chmiel, R., Gnat, S., Puchalski, A., Wernicki, A., 2014. Identification of *Lactobacillus* strains of goose origin using MALDI-TOF mass spectrometry and 16S-23S rDNA intergenic spacer PCR analysis. Research in Microbiology 165, 190–201. doi:10.1016/j.resmic.2014.02.003
- Delcenserie, V., Taminiou, B., Delhalle, L., Nezer, C., Doyen, P., Crevecoeur, S., Roussey, D.,

- Korsak, N., Daube, G., 2014. Microbiota characterization of a Belgian protected designation of origin cheese, Herve cheese, using metagenomic analysis. *Journal of dairy science* 97, 6046–56. doi:10.3168/jds.2014-8225
- Demarigny, Y., Beuvier, E., Buchin, S., Pochet, S., Grappin, R., 1997. Influence of raw milk microflora on the characteristics of Swiss-type cheeses: II. Biochemical and sensory characteristics. *Le Lait* 151–167.
- Dušková, M., Šedo, O., Kšicová, K., Zdráhal, Z., Karpíšková, R., 2012. Identification of lactobacilli isolated from food by genotypic methods and MALDI-TOF MS. *International journal of food microbiology* 159, 107–14. doi:10.1016/j.ijfoodmicro.2012.07.029
- Ercolini, D., Moschetti, G., Blaiotta, G., Coppola, S., 2001. The potential of a polyphasic PCR-dGGE approach in evaluating microbial diversity of natural whey cultures for water-buffalo Mozzarella cheese production: bias of culture-dependent and culture-independent analyses. *Systematic and applied microbiology* 24, 610–7. doi:10.1078/0723-2020-00076
- Freiwald, A., Sauer, S., 2009. Phylogenetic classification and identification of bacteria by mass spectrometry. *Nature protocols* 4, 732–42. doi:10.1038/nprot.2009.37
- Gobbetti, M., Stepaniak, L., De Angelis, M., Corsetti, A., Di Cagno, R., 2002. Latent bioactive peptides in milk proteins: proteolytic activation and significance in dairy processing. *Critical reviews in food science and nutrition* 42, 223–39. doi:10.1080/10408690290825538
- Gori, K., Ryssel, M., Arneborg, N., Jespersen, L., 2013. Isolation and identification of the microbiota of Danish farmhouse and industrially produced surface-ripened cheeses. *Microbial ecology* 65, 602–15. doi:10.1007/s00248-012-0138-3
- Henri-Dubernet, S., Desmasures, N., Guéguen, M., 2008. Diversity and dynamics of lactobacilli populations during ripening of RDO Camembert cheese. *Canadian journal of microbiology* 54, 218–228. doi:10.1139/W07-137
- Hynek, R., Hochel, I., 2013. Identification of bacteria using mass spectrometry techniques. *International journal of mass spectrometry* 353, 67–79. doi:10.1016/j.ijms.2013.04.016
- Hynes, E., Bach, C., Lamberet, G., Ogier, J.-C., Son, O., Delacroix-Buchet, A., 2003. Contribution of starter lactococci and adjunct lactobacilli to proteolysis, volatile profiles and sensory characteristics of washed-curd cheese. *Le Lait* 83, 31–43. doi:10.1051/lait:2002048
- Jordan, K.N., Cogan, T.M., 1993. Identification and growth of non starter lactic acid bacteria in Irish Cheddar cheese. *Ir. J. Agr. Food Res.* 32, 47–55.
- Kumar, S., Stecher, G., Tamura, K., 2016. MEGA7: Molecular Evolutionary Genetics Analysis version 7.0 for bigger datasets. *Molecular Biology and Evolution* msw054. doi:10.1093/molbev/msw054
- Lay, J.O., 2002. MALDI-TOF mass spectrometry of bacteria. *Mass spectrometry reviews* 20, 172–94. doi:10.1002/mas.10003
- López, S., Mayo, B., 1997. Identification and characterization of homofermentative mesophilic *Lactobacillus* strains isolated from artisan starter-free cheeses. *Letters in applied microbiology* 25, 233–8.

- Martley, F.G., Crow, V.L., 1993. Interactions between non-starter microorganisms during cheese manufacture and reopening. *International Dairy Journal* 3, 461–483. doi:10.1016/0958-6946(93)90027-W
- Medina, R., Katz, M., Gonzalez, S., Oliver, G., 2001. Characterization of the lactic acid bacteria in ewe's milk and cheese from northwest Argentina. *Journal of food protection* 64, 559–63.
- Montel, M.-C., Buchin, S., Mallet, A., Delbes-Paus, C., Vuitton, D.A., Desmasures, N., Berthier, F., 2014. Traditional cheeses: rich and diverse microbiota with associated benefits. *International journal of food microbiology* 177, 136–54. doi:10.1016/j.ijfoodmicro.2014.02.019
- Paauw, A., Jonker, D., Roeselers, G., Heng, J.M.E., Mars-Groenendijk, R.H., Trip, H., Molhoek, E.M., Jansen, H.-J., van der Plas, J., de Jong, A.L., Majchrzykiewicz-Koehorst, J.A., Speksnijder, A.G.C.L., 2015. Rapid and reliable discrimination between *Shigella* species and *Escherichia coli* using MALDI-TOF mass spectrometry. *International journal of medical microbiology : IJMM* 305, 446–52. doi:10.1016/j.ijmm.2015.04.001
- Pavlovic, M., Huber, I., Konrad, R., Busch, U., 2013. Application of MALDI-TOF MS for the Identification of Food Borne Bacteria. *The open microbiology journal* 7, 135–41. doi:10.2174/1874285801307010135
- Rantsiou, K., Urso, R., Dolci, P., Comi, G., Cocolin, L., 2008. Microflora of Feta cheese from four Greek manufacturers. *International journal of food microbiology* 126, 36–42. doi:10.1016/j.ijfoodmicro.2008.04.031
- Sánchez, I., Seseña, S., Poveda, J.M., Cabezas, L., Palop, L., 2005. Phenotypic and genotypic characterization of lactobacilli isolated from Spanish goat cheeses. *International journal of food microbiology* 102, 355–62. doi:10.1016/j.ijfoodmicro.2004.11.041
- Scheler, O., Glynn, B., Kurg, A., 2014. Nucleic acid detection technologies and marker molecules in bacterial diagnostics. *Expert review of molecular diagnostics* 14, 489–500. doi:10.1586/14737159.2014.908710
- Svec, P., Vancanneyt, M., Koort, J., Naser, S.M., Hoste, B., Vihavainen, E., Vandamme, P., Swings, J., Björkroth, J., 2005. *Enterococcus devriesei* sp. nov., associated with animal sources. *International journal of systematic and evolutionary microbiology* 55, 2479–84. doi:10.1099/ijs.0.63851-0
- Vithanage, N.R., Yeager, T.R., Jadhav, S.R., Palombo, E. a, Datta, N., 2014. Comparison of identification systems for psychrotrophic bacteria isolated from raw bovine milk. *International journal of food microbiology* 189, 26–38. doi:10.1016/j.ijfoodmicro.2014.07.023
- Welker, M., 2011. Proteomics for routine identification of microorganisms. *Proteomics* 11, 3143–3153. doi:10.1002/pmic.201100049
- Yu, J., Wang, H.M., Zha, M.S., Qing, Y.T., Bai, N., Ren, Y., Xi, X.X., Liu, W.J., Menghe, B.L.G., Zhang, H.P., 2015. Molecular identification and quantification of lactic acid bacteria in traditional fermented dairy foods of Russia. *Journal of dairy science* 98, 5143–54. doi:10.3168/jds.2015-9460

3 Conclusion

Nos résultats montrent que le nombre total de bactéries lactiques n'est pas affecté par le type de lait (cru ou pasteurisé). Nous avons isolé 197 souches des Maroilles fermiers et industriels. Ces souches, testées Gram positif et catalase négative, ont été soumises à une identification par spectrométrie de masse MALDI-TOF. Toutes les souches ont été identifiées avec un score statistiquement significatif : 105 souches de Maroilles au lait cru (38 sur la croûte et 67 dans la pâte) et 92 souches de Maroilles au lait pasteurisé (39 sur la croûte et 53 dans la pâte). Alors qu'elles sont phylogénétiquement proches et dans le même genre, les bactéries appartenant à différents genres (*Lactobacillus*, *Enterococcus* et *Leuconostoc*) et à plusieurs espèces sont parfaitement identifiées et discriminées par approche MALDI-TOF-MS. Notons que la diversité des genres de LAB est plus importante dans le cœur du fromage fabriqué avec du lait cru, avec la présence spécifique d'*Enterococcus devriesei*, comparée au fromage fabriqué au lait pasteurisé. Un autre fait remarquable est que le genre *Lactobacillus* est le genre dominant de la croûte et du cœur des deux types de fromages. Cependant, les espèces trouvées dans le cœur et la croûte sont légèrement différentes. Cette diversité est plus importante pour le Maroilles fermier que pour le Maroilles industriel.

Les résultats d'identifications par MALDI-TOF-MS ont été corroborés, sur une sélection de souches, par l'identification des micro-organismes sur la base du séquençage des ADNr 16S. Pris ensemble, ces résultats semblent démontrer la robustesse et la validité de la méthode. L'identification microbienne par spectrométrie de masse MALDI-TOF est une méthode rapide, répétable, fiable, robuste et économiquement abordable (Dubois et al., 2010; Emami et al., 2015; Popović et al., 2017). Cette méthode est une alternative intéressante aux méthodes couramment utilisées et son application dans l'industrie agroalimentaire est plus que nécessaire pour améliorer le contrôle microbien, réduire la consommation de biocides, éviter les rappels coûteux de produits contaminés et nuire à la réputation de la marque.

Les limites de cette technique ou plus exactement les points qui sont à travailler pour les années à venir sont : l'enrichissement des bases de données par l'ajout de spectres provenant de micro-organismes de différents écosystèmes (environnement, alimentaire,

animal), l'automatisation des préparations des échantillons (rapidité, quantité, réduction des coûts) et le besoin en culture fraîche (spore, forme végétative).

Les trois premiers chapitres ont présenté des résultats en caractérisant les Maroilles avec des paramètres physicochimiques, microbiologiques et sensoriels. Mais dans ces approches, le consommateur n'a finalement été pris que partiellement en considération. Les deux chapitres qui suivent s'attacheront à mieux comprendre les choix du consommateur vis-à-vis des différents Maroilles. Est-ce que la familiarité du consommateur (son histoire, sa culture, ...) avec le Maroilles influence ses choix et ses attentes ? Parallèlement, est-ce que cette familiarité influence également les représentations concernant les Maroilles fermiers que le consommateur se crée ?

**CHAPITRE 4. LES ATTENTES DES
CONSOMMATEURS ET LEUR APPRÉCIATION POUR
LE FROMAGE : LES DIFFÉRENCES
INTERCULTURELLES PEUVENT-ELLES ÊTRE MISES EN
ÉVIDENCE DANS UN PAYS ?**

1 Introduction

Comme montré par différents auteurs, la familiarité vis-à-vis d'un produit a une influence sur les préférences et donc sur les choix du consommateur (Banovic et al., 2012; Seo et al., 2013). La familiarité est cependant une notion complexe qui est évidemment rattachée à la notion de fréquence de consommation du produit mais qui est également en lien avec d'autres facteurs comme la culture, l'histoire, les croyances ou encore les connaissances du consommateur. Beaucoup de travaux ont traité le rôle de la familiarité au travers d'études interculturelles entre différents pays de cultures souvent éloignées (Hong et al., 2014; Prescott et al., 2004). Dans ce cas, la familiarité étudiée dépend de la fréquence de consommation mais également de la culture, les deux facteurs étant confondus. Dans nos travaux, la familiarité a été étudiée dans un unique pays et dans le pays d'origine de la production du Maroilles : la France. Par cette démarche, nous supposons donc que nous minimisons les effets de la culture et que les effets de la familiarité étudiés dépendront essentiellement des différences d'exposition des consommateurs au Maroilles.

Dans ce chapitre, nous tenterons de mieux comprendre le rôle de la familiarité des consommateurs sur l'appréciation et sur les attentes de ceux-ci vis-à-vis du Maroilles. Nous proposons d'étudier la familiarité d'un point de vue de la fréquence de consommation et du type de connaissances, tout en s'affranchissant au maximum de l'effet de la culture puisque le test a été réalisé dans deux villes de France (ayant en théorie des cultures similaires ou tout du moins plus similaires qu'entre deux pays différents). Nous essayerons de répondre aux questions suivantes : 1) Comment la familiarité avec le Maroilles peut-elle influencer l'appréciation et les attentes vis-à-vis de ce produit lorsque des informations (*via* l'emballage) sur le type de fromage (fermier ou industriel) sont données aux consommateurs ? 2) Quelle(s) composante(s) de la familiarité, à savoir les habitudes de consommation, les connaissances théoriques du fromage Maroilles et/ou les connaissances de la marque, jouent un rôle sur l'appréciation et les attentes du consommateur ? Pour cela, un test hédonique a été réalisé auprès de participants français de deux villes différentes : Lille, ville située dans la région de production du Maroilles et Angers, ville située à plus de 500 Km de la région de production.

2 Article

Le résultat de l'étude se présente sous la forme d'un article de recherche soumis à *Food Quality and Preference*.

Consumers' expectation and liking for cheese: can cross-cultural differences be highlighted within a country?

Nacef, M¹, Lelièvre-Desmas, M¹, Symoneaux, R², Jombart, L¹, Flahaut, C¹ and Chollet, S*.¹

¹ISA, Univ. Lille, INRA, Univ. Artois, Univ. Littoral Côte d'Opale, EA 7394 - ICV - Institut Charles Viollette, F-59000 Lille, France; ²USC 1422 GRAPPE, INRA, Ecole Supérieure d'Agricultures, Univ. Bretagne Loire, SFR 4207 QUASAV, SensoVeg, 55 rue Rabelais 49100 Angers, France.

* Corresponding author. Address: ISA Lille, 48 Boulevard Vauban, 59046 Lille Cedex, France.

Tel.: +33 3.28.38.46.36; Fax: +33 3.28.38.48.47

E-mail address: sylvie.chollet@yncrea.fr

Key words: familiarity, knowledge, expectation, liking.

ABSTRACT

Consumers' food choices are affected by various factors whose study is of interest for food industry. This paper aims to investigate the influence of familiarity and product extrinsic information on the expectation and liking of Maroilles cheese among familiar and unfamiliar consumers in France. A hedonic test on six Maroilles cheeses (three craft and three industrial cheeses) was carried out with 305 consumers: 144 familiar consumers from Lille city (located in the Maroilles cheese production area) and 161 unfamiliar consumers from Angers city (500 km apart) in three conditions: blind (tasting without any information), expected (no tasting, presentation of the photo of the packaging) and informed conditions (tasting + presentation of the photo of the packaging). A questionnaire was also administered to assess their socio-demographic information, theoretical knowledge and consumption habits related to Maroilles cheeses. Results show that, as expected, Lille consumers eat more Maroilles and show higher liking scores for this cheese than Angers consumers do. Lille consumers outperform Angers consumers on their knowledge score. This knowledge, associated with exposure, influences the expectations towards Maroilles cheeses. Moreover familiar consumers (Lille) based their hedonic judgment mainly on intrinsic cues (tasting) whereas unfamiliar consumers (Angers) are more influenced by extrinsic cues (packaging), confirming that familiarity affects how consumers use available information to form product quality judgement. This work contributes to a better understanding of the food choice process and gives some cues to the marketing research.

1-Introduction

Cheese has a strong position in French meals and is deeply anchored in national consumption. French people are the largest consumers of cheese in the world. Actually, in 2014, French households consumption is estimated to 26.7 kg of cheese per person per year (Cniel, 2016). There are more than 1000 cheese varieties in France. Most of which originate and are mainly produced in a specific region and 45 of them are PDO-labelled (Protect Designation of Origin). From this special feature, some specific consumer's attitudes and knowledge should emerge because of their familiarity with cheese.

Familiarity is a complex notion related to a personal experience with the product, also called exposure. Although, consumption habits is the main factor that contributes in building familiarity, the notion of familiarity can also integrate knowledge or cultural aspects among others. Familiarity was largely studied because it is a key driver of the purchase and consumption processes: familiarity increases through the personal experience accumulated with purchasing and consuming specific foods (Chocarro, Cortiñas, & Elorz, 2009; Fischer & Frewer, 2009). Familiarity, then, influences consumer food choice and behaviour, which in its turn will increase again the level of familiarity, and so on. Several studies highlighted the correlation between liking and the level of food familiarity (Borgogno, Favotto, Corazzin, Cardello, & Piasentier, 2015; Lee et al., 2010; Tuorila et al., 2008; 1994). This level of familiarity is particularly dependent on the cultural origins of consumers. Indeed, we assume that the frequency of consumption of a specific food from one country leads to higher familiarity regarding this food as compared to another country. Many studies on the effect of familiarity on consumer preference that have focused on cross-cultural comparisons reveal substantial differences of preference among people from different countries (e.g. Moskowitz, Kumaraiah, Sharma, Jacobs, & Sharma, 1975; Prescott & Bell, 1995; Rozin, Ashmore, & Markwith, 1996; Prescott, Young, Zhang, & Cummings, 2004). Although, these results were attributed to differences of familiarity they could also be explained by differences in habits, customs, tradition, religion, etc. among the studied countries, especially because most of these studies have compared countries from different continents (e.g. Kim, Jombart, Valentin, & Kim, 2015; Pagès, Bertrand, Ali, Husson, & Lê, 2007; Prescott, Young, O'Neill, Yau, & Stevens, 2002; Prescott et al., 2004; Rozin, Fischler, Shields, & Masson, 2006; Torri, Jeon, Piochi, Morini, & Kim, 2017; Tu, Valentin, Husson, & Dacremont, 2010) or countries located in the same continent (e.g. Almlí et al., 2011; Sáenz-Navajas, Ballester, Peyron, & Valentin, 2014).

However, only few studies included consumers from a same country therefore with a similar culture and it could be assumed that the difference in familiarity would be more subtle and mainly due to differences of frequency of consumption of the product by consumers. In this context, Baharuddin & Sharifudin, (2015) studied the taste perception and preference for three basic tastes (sweetness, saltiness and sourness) in two different locations (interior and coastal) in Malaysia. They found that location can influence individual preference for sweet and sour tastes and concluded that experience and exposure are key factors for taste preference. Also Rakotosamimanana, Arvisenet, & Valentin, (2015) studied the acceptability of new snacks made with *Moringa olifera* leaves (a tree that grows in Madagascar with good nutritional values) among children in four different locations in Madagascar (in Northern and Center of Madagascar in urban and rural areas). The authors found that the level of acceptability of *Moringa olifera* leaf-based snacks by the children depended on their residency place (region) and thus on their familiarity, *i.e.* the more the children were familiar with *Moringa olifera*, the more they accepted the snacks. So it is clear that familiarity with a product increases its acceptability and preference. One explanation is that familiarity reduces the possible negative effects of a product by decreasing the risk perception (Verbeke, Scholderer, & Lähtenmäki, 2009). Familiarity also shapes consumers' expectations (Deliza & MacFIE, 1996; Tuorila, Meiselman, Bell, Cardello, & Johnson, 1994) and affects how they use available information to assess product quality (Banovic, Fontes, Barreira, & Grunert, 2012; Chocarro et al., 2009; Rao & Monroe, 1988). When choosing food products, consumers use information stored in memory from previous experiences they had with the same or similar products. This is part of the decision-making process (Banovic et al., 2012). After consumption, sensory and hedonic properties of the chosen product, as well as other variables such as its brand, packaging and nutritional values may result in changes in consumer expectations, intention to purchase and sometimes in liking (Deliza & MacFIE, 1996). Thus, expectations are constantly evolving throughout the lifespan. Consumer's expectation is often measured in terms of disparity degree between expected and perceived product performance (Anderson, 1973). A confirmation of the expectation results if the characteristics of the product match with the expectations of the consumer who chooses or consumes the product. On the contrary a discrepancy between the expected and perceived characteristics of the product results in a disconfirmation that may be either positive (when product characteristics are better than those expected) or negative (when product characteristics are worse than expected) (Cardello & Sawyer, 1992).

Several psychological theories explain the disconfirmation created between expectation and perceived product quality (Anderson, 1973): (1) the assimilation theory, or cognitive dissonance theory which predicts that the product performance is assimilated or minimize the level of expectation. When consumers receive two ideas that are psychologically dissonant, some tend to minimize the "mental discomfort" created by an unconfirmed expectation, and would distort their own performance evaluation to make it more consonant with their initial expectation; (2) the contrast theory assumes that a consumer amplifies the disparity between the product performance and the expected product. Contrast is thus the reverse of assimilation; (3) the generalized negativity theory asserts that any discrepancy between expectation and product performance under any and all conditions of disconfirmation causes a generalized negative hedonic perception; (4) the assimilation-contrast theory assumes that there are limits of acceptance or rejection in consumers' perception. Thus if the disparity between expectation and product performance is sufficiently small an assimilation model occurs, while a contrast model takes place in case of a strong disconfirmation. Several studies evaluated the expectation's confirmation or disconfirmation created by different kinds of information to assess the role of consumers' expectations in food perception and acceptance (Cardello, 1994; Imm, Lee, & Lee, 2012; Sabbe, Verbeke, & Van Damme, 2009; Schifferstein, Kole, & Mojet, 1999). This approach was used to study the effect of expectations conveyed by package (Stefani, Romano, & Cavicchi, 2006), brand (Di Monaco, Cavella, Di Marzo, & Masi, 2004; Varela, Ares, Giménez, & Gámbaro, 2010), manufacturing process (Caporale & Monteleone, 2004; Caporale, Sonia, Angela, & Erminio, 2006; Stefani et al., 2006), organic and sustainable food (Laureati, Jabes, Russo, & Pagliarini, 2013; Napolitano et al., 2010), as well as nutritional and health information (Laureati, Conte, Padalino, Del Nobile, & Pagliarini, 2016; Siret & Issanchou, 2000; Torres-Moreno, Tarrega, Torrescasana, & Blanch, 2012; Westcombe & Wardle, 1997). Most of these studies deals with products that are often unfamiliar or new to consumers (Deliza, MacFIE, & Hedderley, 2003; Kähkönen & Tuorila, 1998). In a context of regional products, it can be interesting from a marketing point of view to comprehend how information on packaging can affect consumers' perception and how the expectations can influence the hedonic response of consumers for the product (Caporale et al., 2006).

In the present study, we attempt to achieve a better understanding of the role of the familiarity of consumers on their expectations and liking for a typical regional product: Maroilles cheese from the Northern France. The experiment was designed firstly to answer the question: How could familiarity with Maroilles cheese affect liking and expectation for this product when

information on the product type (craft or industrial cheese *via* the packaging) is provided? Secondly, we try to understand which element(s) of the familiarity — consumption habits, theoretical knowledge of Maroilles cheese and/or brand knowledge — play(s) a role in consumer liking and expectation.

The originality of the present study is to assess only French consumers but from two different regions (the Maroilles region - familiar and another region of France - unfamiliar) and to combine both a hedonic evaluation measuring expectations and a questionnaire designed to explore consumer knowledge and consumption habits regarding Maroilles cheese.

2. Materials and methods

2.1. Products

Maroilles cheese was selected because it is the most important and the only certified cheese in the Northern France. It is available in different brands, both craft made with raw milk and industrial made with pasteurized milk. Six commercial Maroilles cheeses were used: three craft (Château Courbet, Ferme de Cerfmont, Ferme du Pont des Loups) and three industrial (Fauquet, Lesire, Leduc). Maroilles cheese samples were purchased directly from producers (Nord and Aisne departments in the North of France): for a given brand all samples were chosen from the same batch and across brands the difference in shelf-life was no more than six days. For each Maroilles cheese, 12 cylindrical pieces of 25 g were sampled on the peripheral part at one centimeter of the edge (avoiding the central part) in order to homogenize the cheese sampling. The crust of the cheese was not removed. Samples were presented in a plastic cup coded with a 3-digit number and were stored at 4 °C and served 12°C.

2.2. Participants

A total of three hundred and five (168 females and 137 males) regular cheese consumers between 18 and 70 years old were recruited in two cities of France: Lille, the largest town located in the Maroilles cheese region and Angers, located about 500 km outside from the Maroilles cheese production region. The inclusion criterion was based on the cheese consumption frequency: only people who consume cheeses more than once a month were included in the study. The demographic characteristics of consumers in both cities are given in Table 1.

Table 1. Demographic characteristics of the consumers recruited in Lille (n=144) and in Angers (n=168).

	Lille		Angers	
	Number	%	Number	%
Gender				
Men	60	41.7	77	47.8
Women	84	58.3	84	52.2
Age				
<34 years	36	25.0	46	28.6
(35 - 54) years	64	44.4	69	42.8
> 55 years	44	30.6	46	28.6

2.3. Procedure

The experiment consisted of a questionnaire and a hedonic test. The questionnaire was designed in order to evaluate the consumption habits, knowledge, and beliefs about Maroilles cheese. The hedonic test evaluated the liking of the products in three conditions: blind, expected and informed conditions. Consumers took part individually in the experiment in two sessions of about 30 minutes one week apart. The sessions were held at the sensory laboratories of the Food Sciences Department of ISA (Lille, North of France) and at the sensory laboratory of UR GRAPPE from Ecole Supérieure d'Agricultures (Angers, West of France) designed according to ISO guidelines (ISO 8589, 2007). Tasting was conducted in individual sensory booths under white light at room temperature between 20°C and 21°C. The data were collected with the Fizz software program ver. 2.31g (Biosystemes, Couternon, France). The two sessions are detailed below.

Session 1. Consumers started by answering questions about the Maroilles cheese: they were asked to write down the names of all the Maroilles brands they know and their respective consumption frequency (Appendix 1 - Q1 & Q2) and then to answer eight questions related to their theoretical knowledge about Maroilles cheese (Appendix 1 – Q3 to Q10). Then they performed the hedonic test under blind and expected conditions. Firstly, they were asked to rate their liking degree of the six Maroilles cheese samples under blind condition (*i.e.* without any information about the product) on an 11 point-scale anchored at the extremes with the terms “extremely disliked” (left of the scale) and “extremely liked” (right of the scale). Consumers also answered a non-mandatory open-ended question stating separately what they liked and disliked about each product. After tasting each sample, consumers were instructed to rinse their

mouth with mineral water. In order to balance the serving order and carryover effects, the presentation order of the samples was designed following William Latin squares. After a short break of two minutes, the consumers rated their expected liking degree of each Maroilles cheese induced by the image of the packaging presented on a screen, without tasting the sample (expected condition). The original packaging of the Maroilles cheese were not modified (Figure 1). The same procedure as for blind test was used (scale, design of presentation). The presentation orders for the images of packaging were different from those of blind condition.

Session 2. After a one-week interval, the same consumers performed the informed condition of the hedonic test. The procedure was exactly the same as for the blind condition, except that consumers were provided with the image of the packaging of each tasted Maroilles cheese. After the testing, consumers were administrated a questionnaire designed to obtain a) socio-demographic information and b) Maroilles cheese consumption habits.



Figure 1. Images of packaging of the six studied Maroilles cheeses

2.5. Data analysis

2.5.1. Questionnaire

The number of quoted brands was recorded for each city and compared with a Student's t-tests ($p < 0.05$). The percentage of consumers able to quote at least one Maroilles brand was also calculated in each city and compared with a Chi-square test ($p < 0.05$) (Appendix 1 – Q1). Consumption habits were evaluated by calculating the consumption frequency in each city and compared with a Chi-square test ($p < 0.05$) (Appendix 1 – Q2). A theoretical knowledge score out of 8 points was also calculated from question Q3 to Q10 (Appendix 1) in each city and compared using Student's t-test ($p < 0.05$). This score was also used to divide the consumer panel in two clusters in each city in order to assess the influence of theoretical knowledge on liking and expectation.

2.5.2. Hedonic test

Blind, expected and informed liking data: scores

First, a variance analysis (ANOVA) was carried out considering the condition (Blind, Expected and Informed), the city (Lille and Angers) and the knowledge (low and high level) as factors and liking scores as dependent variable. Secondly, to compare craft and industrial cheeses, we used an ANOVA considering the type of Maroilles (Craft/ Industrial) and the consumers as factors and liking scores as dependent variable for each condition (blind, expected and informed) and each city (Lille and Angers).

Study of disconfirmation of expectation

First, data were analyzed using ANOVAs considering the samples (six samples of Maroilles cheese) and the consumers as factors and liking scores as the dependent variable for each condition (blind, expected and informed) and each city (Lille and Angers). When a significant effect of product was found, a Duncan's multiple range test ($p < 0.05$) was performed to compare the products two by two in the considered condition and city.

Then, to study the expectations and the associated measures of confirmation/ disconfirmation, paired t-tests ($p < 0.05$) were performed between zero as theoretical means and the differences between expected and blind (E – B), between informed and blind (I – B) and between informed and expected (I – E) data for each of the six products. A disconfirmation of expectation for a product occurs when the difference (E – B) is significantly different from zero. Moreover, if (I

– B) is not significantly different from 0, then the disconfirmation could be considered as small and hardly interpretable (Caporale & Monteleone, 2004; Caporale et al., 2006). However, if (I – B) is different from 0, then in this case, the disconfirmation could be associated with an assimilation or a contrast effect. To discriminate between both effects, the $(I - B) / (E - B)$ ratios were calculated for each of the six products. A positive ratio indicates an assimilation effect while a negative ratio indicates a contrast effect. Then, the assimilation is only incomplete if the difference (I – E) is significantly different from zero. If not, the assimilation is complete (Laureati et al., 2013, 2016). These analyses were applied on data obtained from the whole panel and for each of the clusters of consumers (high or low level of knowledge) in each city.

Finally, the effect of information on liking scores (I – B) was represented for each consumer as a function of the degree of disconfirmation (E – B) and a regression line was fitted for the six cheeses in both cities

Free comments

The comment analysis necessitated first a structuring as the consumers answered without precise instructions, sometimes with typing, spelling and grammatical mistakes. As it was done by Symoneaux, Galmarini, & Mehinagic, (2012), we corrected the mistakes, eliminated the connectors and auxiliary terms, proceeded in a lemmatization, managed the ambiguous terms (polysemy and homographs) and regrouped the synonyms (2 judges carried out these steps). All the comments were simplified into short verbatims. Then, the amount of verbatim was counted per consumer.

To go further in the content analysis, the different terms were also categorized in 5 categories (Visual, flavor, textural, hedonic and inference) for blind conditions, 5 categories (Visual, design, information, hedonic and inference) for expected condition and 6 categories (Visual, flavor, textural, information, hedonic and inference) for informed condition.

A variance analysis (ANOVA) was conducted considering the condition (Blind, Expected and Informed), the city (Lille and Angers) and the knowledge (low and high level) as factors and the number of terms used by consumer as dependent variable.

In order to observe differences among the words used by the consumers depending on the town they came from and on their knowledge relative to Maroilles cheese, contingency tables were obtained crossing categories and these variables. Then, global Chi-square and Chi-square per cell were used (Symoneaux et al., 2012). Only p -values under 0.001 from the Chi-square per cell were considered to select the significant categories to mention in the results.

3. Results

3.1. Questionnaire: Brand knowledge, consumption habits and theoretical knowledge of Maroilles cheese

3.1.1. Brand knowledge

Concerning the Maroilles brands freely quoted by consumers, there is a clear-cut difference between the two cities: In Lille, 75.7% of the consumers are able to quote at least one Maroilles brand against only 9.3% in Angers ($\chi^2=138.81$, $p<0.0001$). This difference is also illustrated by the low brand number quoted per consumer in Angers compared to Lille [(M=0.14, SD=0.47; M=1.19, SD=0.99 respectively); ($t_{303} = -12.12$, $P<0.0001$)].

3.1.2. Consumption habits

Figure 2 shows the Maroilles consumption frequency for Lille and Angers consumers. As anticipated, consumers from Lille clearly consume more Maroilles cheese than Angers participants do. Thus, 79% of consumers from Angers say “never or less often than once a week” whereas 88% of consumers from Lille eat Maroilles either daily or at least once a month.

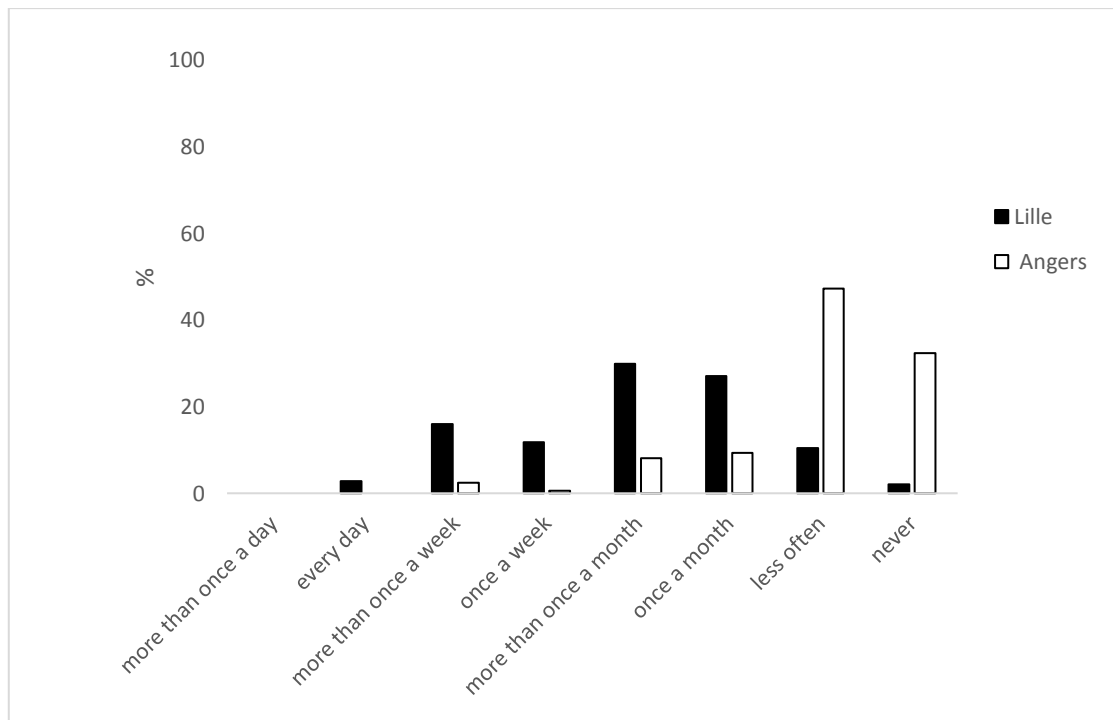


Figure 2. Maroilles consumption frequency among Lille and Angers consumers.

3.1.3. Theoretical knowledge

Lille consumers have a higher score of Maroilles cheese knowledge than those of Angers [(M=4.13, SD=1.16; M=3.01, SD=1.27 respectively); ($t_{303} = -8.058$, $P < 0.0001$)]. Even if Lille consumers outperform Angers consumers in theoretical knowledge, it is possible to find some connoisseurs in Angers and some “non-connoisseurs” in Lille. In order to evaluate the influence of theoretical knowledge on consumers’ expectation towards Maroilles cheeses, consumers in each city were divided into two clusters according to their theoretical knowledge of Maroilles cheese: Cluster 1 (C1 – lowest level) has an average score of theoretical knowledge equal to or less than 3 (C1-Lille: $M_{C1} = 2.53 \pm 0.70$, N= 36; C1-Angers: $M_{C1} = 2.24 \pm 0.85$, N= 103) and cluster 2 (C2 – highest level) has an average score higher than 3 (C2-Lille: $M_{C2} = 4.67 \pm 0.70$, N= 108; C2-Angers: $M_{C2} = 4.36 \pm 0.55$, N= 58).

Overall, these results show that Lille consumers are more familiar with Maroilles cheese than are Angers consumers, especially regarding brand knowledge and consumption frequency.

3.2. Blind, expected and informed data analysis in Lille and Angers

3.2.1 Blind, expected and informed scores

A three-way ANOVA shows a significant effect of the condition (blind, expected and informed - $F_{(2;905)} = 11.506$; $p \leq 0.0001$) and city (Lille and Angers - $F_{(1;905)} = 23.669$; $p \leq 0.0001$) on the liking scores. However, no effect of knowledge cluster is observed. Figure 3 shows the liking score for each condition and city.

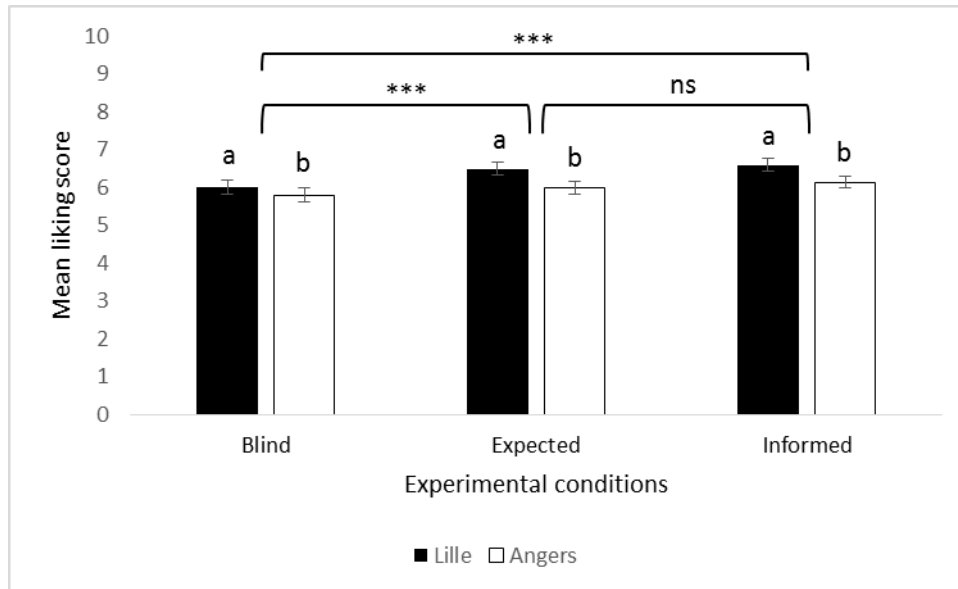


Figure 3. Consumer test results: Mean liking score for Lille and Angers consumers under the three experimental conditions. Bars indicate the confidence intervals. In each condition (blind, expected & informed) means with the different letters are significantly different ($p < 0.05$).

Stars (* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$) correspond to t-test between conditions regardless of the cities.

First, Maroilles cheese score under the three experimental conditions is higher in Lille than in Angers. Secondly, regardless of the city, the average liking scores obtained under the blind condition (Lille: $M = 6.01 \pm 2.31$ and Angers: $M = 5.79 \pm 2.41$) are lower than those under the expected (Lille: $M = 6.49 \pm 2.02$ and Angers: $M = 5.99 \pm 2.05$) and informed conditions (Lille: $M = 6.59 \pm 2.13$ and Angers: $M = 6.14 \pm 2.06$). Thus, the packaging plays a role for the appraisal of the products.

Concerning the type of product (craft or industrial Maroilles cheese), a two-way ANOVA shows that in blind and expected conditions Angers consumers give higher liking scores for craft Maroilles than for industrial Maroilles ($F_{(1;804)}=14.787$; $p=0.000$ and $F_{(1;804)}=25.548$; $p < 0.000$ respectively) whereas no significant difference between liking scores is observed for Lille consumers ($F_{(1;719)}=2.249$; $p=0.134$ and $F_{(1;719)}=0.538$; $p=0.463$ respectively for craft and industrial Maroilles). However under the informed condition, craft Maroilles are more appreciated than industrial Maroilles in both cities ($F_{(1;719)}=7.887$; $p=0.005$ and $F_{(1;804)}=60.861$; $p < 0.000$ in Lille and Angers respectively).

3.2.2 Study of disconfirmation of expectation

3.2.2.1 Analysis of the whole panel

An in-depth analysis of blind, expected and informed conditions allows qualifying the consumers' expectations for Maroilles cheese. Table 2 presents the mean liking scores of Maroilles cheese in Lille and Angers under the three experimental conditions.

Table 2. Mean liking score of Maroilles cheese under blind (B), expected (E) and informed (I) conditions for Lille and Angers consumers.

City	Maroilles cheese	Scores			E-B		I-B		I-E	
		Blind	Expected	Informed	Mean	<i>p</i> -value	Mean	<i>p</i> -value	Mean	<i>p</i> -value
Lille	Courbet	6.81 ^a	6.47 ^b	6.93 ^a	-0.347	ns Confirmation	0.118	-	0.465	-
	Leduc	5.87 ^b	6.23 ^b	5.81 ^c	0.361	ns Confirmation	-0.056	-	-0.417	-
	Lesire	6.08 ^b	5.49 ^c	6.28 ^b	-0.583	** Disconfirmation	0.201	ns	-0.785	-
	Pnt des lps	5.59 ^b	6.53 ^b	6.24 ^b	0.938	*** Disconfirmation	0.646	** Assimilation	-0.292	ns complete
	Cerfmont	5.94 ^b	6.34 ^b	7.14 ^a	0.403	ns Confirmation	1.201	-	0.799	-
	Fauquet	5.77 ^b	7.89 ^a	7.17 ^a	2.118	*** Disconfirmation	1.396	*** Assimilation	-0.722	*** incomplete
Angers	Courbet	6.45 ^a	6.13 ^c	6.87 ^a	-0.317	ns Confirmation	0.422	-	0.739	-
	Leduc	5.35 ^c	5.34 ^c	5.26 ^c	-0.012	ns Confirmation	-0.093	-	-0.081	-
	Lesire	5.89 ^b	5.09 ^e	5.86 ^b	-0.807	*** Disconfirmation	-0.031	ns	0.776	-
	Pnt des lps	5.65 ^{bc}	7.02 ^a	6.15 ^b	1.373	*** Disconfirmation	0.497	* Assimilation	-0.876	*** incomplete
	Cerfmont	6.09 ^{ab}	5.74 ^d	6.76 ^a	-0.354	ns Confirmation	0.671	-	1.025	-
	Fauquet	5.31 ^c	6.63 ^b	5.9 ^b	1.317	*** Disconfirmation	0.590	** Assimilation	-0.727	*** incomplete

For each city and each condition, mean scores of Maroilles cheeses with different letters are significantly different ($p < 0.05$) according to the Duncan's multiple range test for mean comparisons.

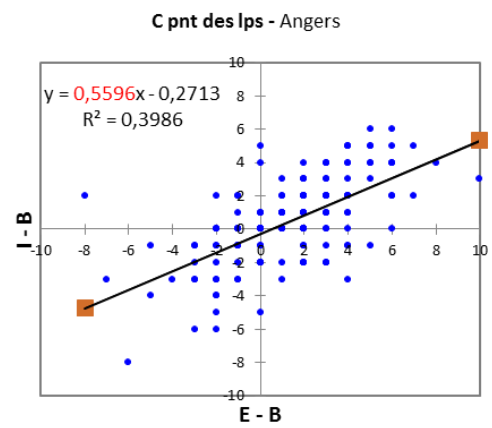
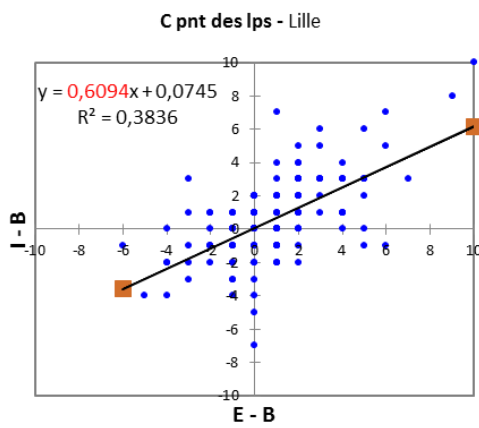
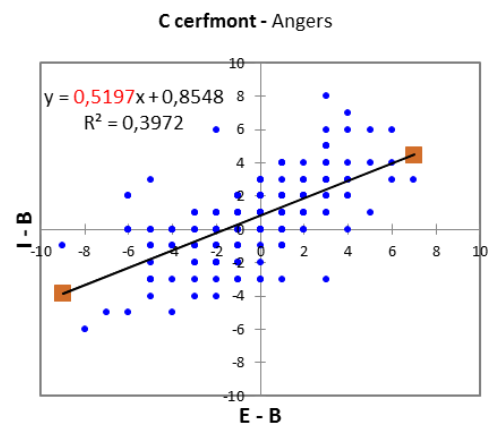
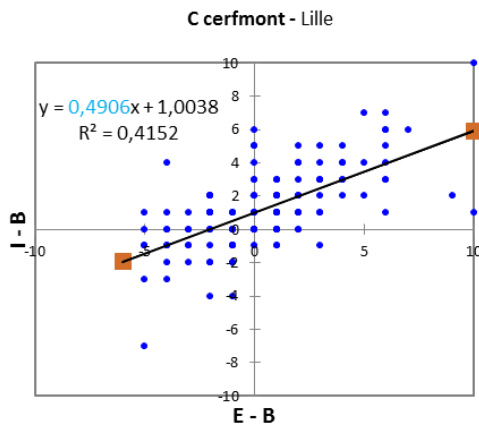
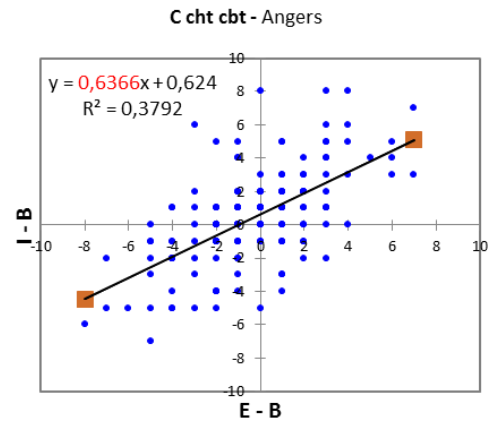
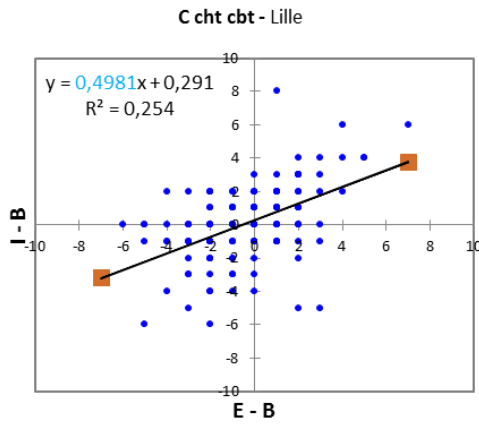
* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$

ANOVA results show a significant effect of Maroilles cheese in the three conditions in Lille (blind $F_{5,715}=6.495$, $P < 0.0001$; expected $F_{5,715}=30.753$, $P < 0.0001$; informed $F_{5,715}=14.726$, $P < 0.0001$) and in Angers (blind $F_{5,800}=6.586$, $P < 0.0001$; expected $F_{5,800}=28.865$, $P < 0.0001$; informed $F_{5,800}=18.074$, $P < 0.0001$). Under the blind condition, Courbet Maroilles has significantly higher scores than the others among Lille consumers whereas in Angers this liking is not so clear, consumers like Courbet but also Cerfmont. Under the expected condition, in Lille, the score of Fauquet is particularly high indicating that Lille consumers like this packaging. In Angers, Pnt des lps is ranked the highest. However, in both cities, Lesire's packaging obtains the lowest score. Under informed condition, in Lille, Courbet always presents a high score, but also Cerfmont and Fauquet. In Angers, Courbet and Cerfmont score the highest. Leduc, on the contrary is the least liked by consumers from both cities.

To study the effect of expectation generated by the packaging of each Maroilles cheese, mean scores for each condition were compared: Expected minus Blind (E – B), Informed minus Blind (I – B) and Informed minus Expected (I – E) (Table 2). For (E – B) similar results are obtained

in Lille and Angers. For the three Maroilles cheeses Courbet, Leduc and Cerfmont, the difference ($E - B$) is not significantly different from 0, indicating a confirmation of the consumer expectation. On the contrary, a significant difference is obtained for the three other cheeses with a positive disconfirmation of expectation for Lesire Maroilles cheese (*i.e.* the product in blind is scored higher than its packaging); and a negative disconfirmation of expectation for Pnt des lps and Fauquet cheeses (*i.e.* the products in blind are scored lower than their packaging). For these two last cheeses, this disconfirmation is associated with an assimilation effect because the ratio $(I - B) / (E - B)$ is superior to 0 (*i.e.* for these two cheeses, the packaging plays an important role on the global cheese judgment). For the Fauquet cheese the assimilation is incomplete in both cities indicating that expected liking created by the packaging is high and the sensory properties has a low impact on scores in the informed condition, thus the packaging compensates partially the decrease in liking. For Pnt des lps cheese, at Angers, the same incomplete assimilation is observed [$(I - E)$ is significantly different from 0 ($p < 0.0001$)], whereas in Lille ($I - E$) is not significantly different from 0, indicating a complete assimilation (*i.e.* the packaging compensates totally the decrease of liking).

To study the relative effect of information (packaging) and cheese (tasting), we plotted the regression line that corresponds to the model $(I - B) = \alpha + \beta (E - B) + \varepsilon$, for each Maroilles cheese in both cities (**Fig. 4**). The regression lines show a positive slope higher than 0.5 for all cheeses in both cities, except for two craft cheeses (Courbet and Cerfmont) in Lille. This indicates that Angers consumers are more influenced by the packaging in their evaluation of the cheeses under the informed condition than Lille consumers for who the tasting is more important for Courbet and Cerfmont. It is also interesting to note that the highest slope is obtained with Fauquet in Lille (0.71) showing that the packaging of this brand has a high impact on the overall liking. Moreover, the extent of the scatter plot on the x-axis is quite similar for all cheeses in both cities suggesting a comparable dispersion of the packaging's impact. However, the Fauquet's observations plotted on the graph are nearly all positive, especially in Lille, compared with the others cheeses in both cities, indicating that assimilation for this product is negative ($I - E < 0$) and that the packaging of this cheese plays an important role on the consumer food choice.



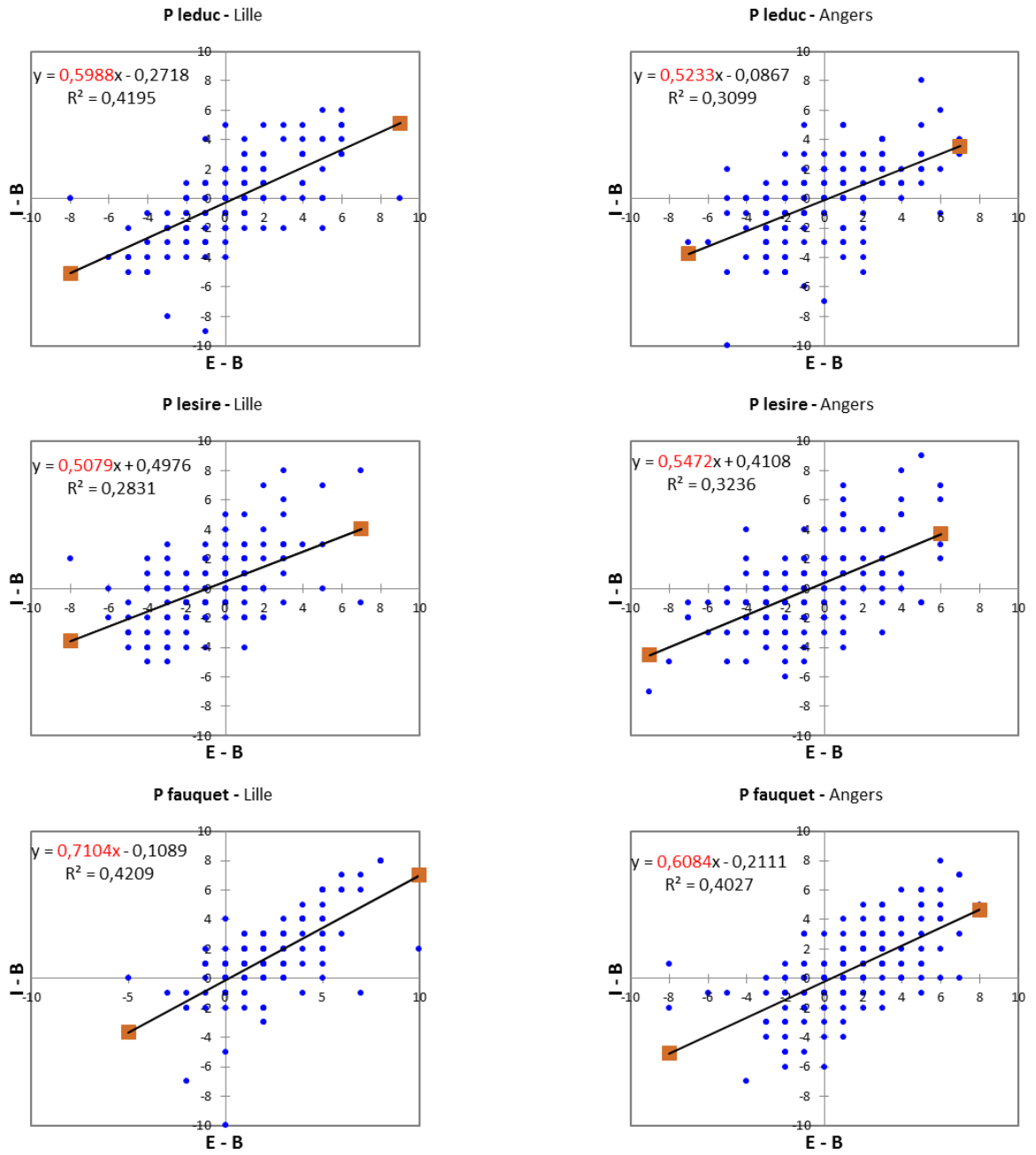


Figure. 4. Linear model $(I - B) = \alpha + \beta (E - B) + \varepsilon$, for the six Maroilles cheeses in Lille (left side) and Angers (right side). B=Blind, E=Expected, I=Informed

3.2.2.1 Analysis by cluster of consumers (C1 & C2)

Table 3. Mean liking score of Maroilles cheese under blind, expected and informed conditions for the two theoretical knowledge clusters of Lille and Angers consumer.

Lille	Maroilles cheese	Scores			E-B			I-B		I-E	
		Blind	Expected	Informed	Mean	p-value		Mean	p-value	Mean	p-value
Cluster 1 (C1-low)	Courbet	6.92 ^a	6.61 ^{ab}	7.31 ^a	-0.306	ns	Confirmation	0.389	-	0.694	-
	Leduc	5.83 ^b	6.33 ^{bc}	5.58 ^d	0.500	ns	Confirmation	-0.250	-	-0.750	-
	Lesire	6.11 ^{ab}	5.44 ^d	6.56 ^{abc}	-0.667	ns	Confirmation	0.444	-	1.111	-
	Pnt des lps	5.89 ^b	6.61 ^{ab}	6.03 ^{cd}	0.722	ns	Confirmation	0.139	-	-0.583	-
	Cerfmont	6.19 ^{ab}	5.78 ^{cd}	7.08 ^{ab}	-0.417	ns	Confirmation	0.889	-	1.306	-
	Fauquet	5.72 ^b	7.31 ^a	6.53 ^{bc}	1.583	**	Disconfirmation	0.806	* Assimilation	-0.778	ns complete
Cluster 2 (C2-high)	Courbet	6.78 ^a	6.42 ^b	6.81 ^b	-0.361	ns	Confirmation	0.028	-	0.389	-
	Leduc	5.88 ^b	6.19 ^b	5.89 ^c	0.315	ns	Confirmation	0.009	-	-0.306	-
	Lesire	6.06 ^b	5.51 ^c	6.19 ^c	-0.556	*	Disconfirmation	0.120	ns	0.676	-
	Pnt des lps	5.49 ^b	6.5 ^b	6.31 ^c	1.009	***	Disconfirmation	0.815	*** Assimilation	-0.194	ns complete
	Cerfmont	5.86 ^b	6.53 ^b	7.16 ^{ab}	0.676	*	Disconfirmation	1.306	*** Assimilation	0.630	** incomplete
	Fauquet	5.79 ^b	8.08 ^a	7.38 ^a	2.296	***	Disconfirmation	1.593	*** Assimilation	-0.704	*** incomplete

Angers	Maroilles cheese	Scores			E-B			I-B		I-E	
		Blind	Expected	Informed	Mean	p-value		Mean	p-value	Mean	p-value
Cluster 1 (C1-low)	Courbet	6.21 ^a	6.09 ^b	6.95 ^a	-0.126	ns	Confirmation	0.738	-	0.864	-
	Leduc	5.47 ^{bc}	5.39 ^c	5.36 ^c	-0.078	ns	Confirmation	-0.107	-	-0.029	-
	Lesire	5.81 ^{abc}	5.22 ^c	5.81 ^{bc}	-0.583	*	Disconfirmation	0.000	ns	0.583	-
	Pnt des lps	5.83 ^{abc}	6.77 ^a	5.97 ^b	0.932	**	Disconfirmation	0.136	ns	-0.796	-
	Cerfmont	6.12 ^{ab}	5.49 ^c	6.75 ^a	-0.631	ns	Confirmation	0.631	-	1.262	-
	Fauquet	5.44 ^c	6.56 ^a	5.99 ^b	1.126	***	Disconfirmation	0.553	* Assimilation	-0.573	*** incomplete
Cluster 2 (C2-high)	Courbet	6.86 ^a	6.21 ^b	6.72 ^a	-0.655	ns	Confirmation	-0.138	-	0.517	-
	Leduc	5.15 ^c	5.26 ^c	5.09 ^d	0.103	ns	Confirmation	-0.069	-	-0.172	-
	Lesire	6.05 ^{ab}	4.84 ^c	5.97 ^{bc}	-1.207	**	Disconfirmation	-0.086	ns	1.121	-
	Pnt des lps	5.33 ^{bc}	7.48 ^a	6.47 ^{ab}	2.155	***	Disconfirmation	1.138	** Assimilation	-1.017	** incomplete
	Cerfmont	6.05 ^{ab}	6.19 ^b	6.79 ^a	0.138	ns	Confirmation	0.741	-	0.603	-
	Fauquet	5.09 ^c	6.74 ^b	5.74 ^{cd}	1.655	***	Disconfirmation	0.655	ns	-1.000	-

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$

For each cluster and each condition, mean scores of Maroilles cheeses with different letters are significantly different ($p < 0.05$) according to the Duncan's multiple range test for means comparisons.

Table 3 shows that regardless of the city, the level of knowledge and the conditions, similar differences in liking between the six cheeses are observed.

As for the whole consumer groups, we assessed the influence of the expectation generated by the packaging on the liking scores by computing the differences $(E - B)$, $(I - B)$ and $(I - E)$ for each cheese and each cluster. We find that for the cluster C1 of Lille (lowest level of knowledge), $(E - B)$ is significantly different from 0 for the Fauquet cheese, indicating a negative disconfirmation: the consumers of this cluster are disappointed by the taste of this Maroilles cheese. More precisely, $(I - B)$ is significantly different from 0 which indicates that the information (packaging) affected their liking taste. The ratio $(I - B/E - B) > 0$ indicates that the disconfirmation effect could be explained by the assimilation model. $(I - E)$ is not significantly different from 0 for this cheese sample revealing a complete assimilation (*i.e.* the packaging totally compensates the low liking score). However, for the other five Maroilles cheeses $(E - B)$ is not significantly different from 0 corresponding to a confirmation of expectations. For the cluster C2 in Lille, the difference $(E - B)$ is significantly different from 0 for four cheeses, indicating a positive disconfirmation for Lesire Maroilles and a negative disconfirmation for Cerfmont, Pnt des lps and Fauquet cheeses. The disconfirmation for Lesire is not significant whereas for the other three cheeses an assimilation is observed. This assimilation is incomplete for Cerfmont and Fauquet cheeses but complete for the Pnt des lps. So, in Lille, the more people have knowledge, the more disconfirmations and assimilations are observed. In Angers, results are different from those in Lille in terms of effect of knowledge. Actually, in Angers, similar results are obtained regardless of the knowledge cluster (C1 or C2): Confirmation is obtained for Courbet, Leduc and Cerfmont, positive disconfirmation for Lesire and negative confirmation for Pnt des lps and Fauquet. The only small difference between both clusters is that an incomplete assimilation is observed for Fauquet in C1 and for Pnt des lps in C2.

3.2.3 Comment analysis on likes and dislikes

A three-way ANOVA shows a significant effect of condition (Blind, Expected and Informed - $F_{(2;905)}=18.507$; $p \leq 0.0001$) and knowledge level (Low and high levels - $F_{(1;905)}=11.410$; $p=0.001$) as well as an interaction between the condition and the city. Indeed, consumers use more terms under informed condition ($M=4.69$) than under blind and expected condition ($M = 4.12$ and $M = 4.03$ respectively). Moreover, consumers with high level of knowledge use more terms ($M=4.43$) than consumers with low level of knowledge ($M=4.10$). Under blind and expected conditions, consumers from Lille ($M= 4.44$ and $M= 4.09$ respectively) use more terms than consumers from Angers ($M= 3.83$ and $M= 3.98$ respectively) whereas under informed

condition the contrary is observed: consumers from Angers use substantially more terms (M=4.95) than consumers from Lille (M= 4.40). No effect of the city is observed (M=3.96 and M=3.93 terms for Lille and Angers respectively).

Comparison between both cities show that, under blind condition, consumers from Lille base their liking scores on visual terms (*color, aspect*) whereas consumers from Angers base their scores on inference (*matured*) and textural terms (*hard*). Under expected condition, consumers from Lille used more terms related to hedonic (*pleasant, unpleasant*) and inference terms (*natural, well-known*) whereas consumers from Angers used more design (*full, writing*) and visual (*picture, label*) terms. Under informed condition, consumers from Lille only use flavor terms (*taste, odor, after-taste, salty*) whereas consumers from Angers quote inference (*equilibrated, outmoded*), information (*information, raw milk, farmer*), and visual terms (*gold medal, picture*). This comment analysis confirms the results of the plot analysis showing that under the informed condition, Angers consumers base their liking scores more on the packaging than on the taste, conversely to Lille consumers. Thus, consumption frequency/familiarity through the place of residence seems to play an important role on the used criteria to base the consumer's hedonic judgment.

Regarding the level of knowledge in each city, there is no difference between C1 (lowest level) and C2 (highest level) among consumers from Lille, except under informed condition, C1 consumers give more hedonic terms. However, in Angers, differences between the levels of knowledge are observed: under blind condition, C1 consumers use more hedonic and flavor terms whereas C2 consumers use more textural and visual terms. Under expected condition, C2 consumers use more information and visual terms and under informed condition, they use more textural terms.

4. Discussion

The main aim of this article was to address this question: How does familiarity with product (Maroilles cheese) affect consumers' attitudes, liking and expectations for this product when information on the product type (craft or industrial product *via* the packaging) is provided?

The first result of our study, but which was also a prerequisite for our study is that Lille consumers consume more Maroilles cheese than Angers consumers. From this result, if we

consider the consumption habits as a foundation of the familiarity, we can well consider that consumers from Lille are more familiar with Maroilles than consumers from Angers.

Our study also shows that familiarity with the Maroilles cheeses lead to a higher score of knowledge among consumers from Lille. Thus the familiarity in term of exposure or product experience is a precondition of product knowledge as already stated by Alba & Hutchinson, (2000) and Chocarro et al., (2009). According to Banovic et al., 2012 familiarity leads to two kinds of knowledge: the objective knowledge characterizing the stored information and its organization in the memory and the subjective knowledge representing a consumer's personal perceptions of what and how much he knows of a product. In our study, the questionnaire with the eight questions on theoretical knowledge allows rather accessing to the objective knowledge, in other word to the information stored in the consumer's memory. Our results show that familiarity in terms of exposure leads to an increase of theoretical knowledge, either in terms of the nature of the information stored in memory or in terms of a better recall of this information in memory due to a specific organization of the knowledge. These hypotheses are also confirmed by our results on brand knowledge showing that Lille consumers quote largely more Maroilles brands than Angers consumers, who are practically unable to quote one brand. To conclude, the familiarity constitutes a foundation of the consumers' expertise.

Concerning the hedonic judgement, our results show that the liking scores of Lille consumers are higher than those of Angers consumers. This result is in agreement with many other works demonstrating that the more familiar the product is, the more it is liked (Cooke, 2007; Stein, Nagai, Nakagawa, & Beauchamp, 2003). This positive association between familiarity and liking has been largely highlighted in different fields, such as odor (Distel et al., 1999; Distel & Hudson, 2001; Seo, Buschhüter, & Hummel, 2008), child developmental food behavior (e.g. Birch & Davison, 2001; Skinner, Carruth, Bounds, Ziegler, & Reidy, 2002; Sullivan & Birch, 1990, 1994) or in cross-cultural studies (e.g. Hong et al., 2014; Prescott, 1998; Prescott et al., 2004; Chung et al., 2012; Verbeke & Poquiqui, 2005). It could be explained by the fact that exposure to a product reduces its risk perception (Verbeke et al., 2009) and thus reassures the consumer. This decreased uncertainty about safety and identity of food is largely studied in the case of introduction of novel foods (Berlyne, 1970; Fenko et al., 2015; Hartmann et al., 2015; Methven et al., 2012; Raudenbush & Frank, 1999; Tuorila et al., 2001; Zajonc, 1968).

A difference in liking between Lille and Angers is also found under blind and expected conditions: consumers from Angers, who are the less familiar to the product, give higher liking

score to craft cheeses compared to industrial cheeses whereas no difference between both types of cheeses is observed for the more familiar consumers from Lille. This discrepancy can also be explained by the notion of familiarity. Indeed, 75% of Maroilles cheese production is sold within a radius of 200 km around the production region and 92% of the entire production of Maroilles is industrial with 65% is held by one industrial brand, Fauquet (Syndicat Maroilles, 2016). Therefore, consumers who are exposed to Maroilles cheese and especially those from Lille are exposed to industrial Maroilles cheeses. This explains why they like equally industrial and craft Maroilles. The explanation regarding the results from Angers' consumers is rather tricky: we anticipate that unfamiliar Angers consumers have a stereotype of a Maroilles cheese as being a strong cheese. So it is possible that they build an image of a good quality of a Maroilles cheese as being a strong cheese, and the craft cheeses have a stronger taste compared to industrial cheeses (Chambers, Esteve, & Retiveau, 2010; Westling et al., 2016). Moreover, for French people *terroir* product give a good image and synonymous of high quality (Lenglet, 2014). So in blind condition, they would infer that the strongest Maroilles are craft Maroilles, and score them higher in liking. In expected condition, they can see which one is craft or industrial and give a higher score to craft Maroilles.

Concerning the expectations, our results do not allow highlighting substantial difference between Lille and Angers consumers. In general, same confirmations and disconfirmations are observed in both cities: negative disconfirmation with assimilation for Pnt des lps and Fauquet, positive disconfirmation for Lesire and confirmation for the three others cheeses. The only difference is that a complete assimilation is observed for Pnt des lps in Lille. These results are not totally supported by other works of Schifferstein et al., (1999), Siret & Issanchou, (2000) and Cardello, 2007 who found more cases of assimilation. It is possible that our results were affected by the various information that can be found on the packaging such as brand, label, etc. (d'Hauteville, Fornerino, & Philippe Perrouy, 2007). Comments support that tasting is more important in food choice among Lille consumers than Angers consumers, the latter are more influenced by the packaging. Our results are in agreement with the results of Banovic et al., (2012) on meat quality perception, who show that familiar consumers evaluation is based on intrinsic cues (sensory properties such as odor, taste, texture) whereas unfamiliar consumers evaluation is based on extrinsic cues (brand, packaging). Thus, familiarity plays a role on the nature of the cues used in the formation of the food decision choice and affects how consumers use available information to form product quality judgement (Banovic et al., 2012; Chocarro et al., 2009; Rao & Monroe, 1988).

The last but not least interesting results of our work concerns the influence of familiarity and knowledge on expectations. Results shows that Lille consumers with high knowledge level (Cluster C2) have more disconfirmations than do Lille consumers with low knowledge level (Cluster C1). However, this influence of knowledge is not true for unfamiliar consumers from Angers. We can hypothesize that knowledge without exposure does not influence expectations. Exposure would be an essential prerequisite for knowledge to have influence on expectations. These results are in agreement with Banovic et al., (2012)'s work stating that the familiarity is a precondition of product knowledge and expertise and make think that the main building block of familiarity is exposure and a secondary bloc would be theoretical knowledge. The consumer expertise would be strongly linked to its exposure to a product (habits of consumption) and to its knowledge of a product.

5. Conclusion

Our study carried out within the same country allows to reduce the bias that might result from confounding variables such as culture or religion and to mainly focus on consumption habits and knowledge as the main independent factors. We found that consumption habits and knowledge influence consumers' expectations toward Maroilles cheese and thus the food choice. Additionally, we found that familiarity with a product is closely linked to exposure and knowledge toward this product. In our study, we used the entire packaging which contains a lot of information such as brand, label, technical information (weight, Maroilles, craft, etc.) and also conveys aesthetic characteristics (images, colors, fonts, etc.). This choice mimics real life conditions and represents what consumers find on the market. However, it could be a limiting factor in our study because we know that packaging plays a great role in consumer choices but we cannot determine precisely the factor of influence. Future studies shall examine independently each factor in depth (brand, label, etc.) that would benefit both marketing research and Maroilles community.

Highlights

Familiarity with Maroilles cheeses increases liking scores and knowledge.

Familiar consumers base their food choice on intrinsic parameters (tasting).

Unfamiliar consumers rely on extrinsic parameters (packaging) for food choice.

Knowledge influences expectations, but only for familiar consumers.

References

- Alba, J. W., & Hutchinson, J. W. (2000). Knowledge Calibration: What Consumers Know and What They Think They Know. *Journal of Consumer Research*, 27(2), 123–156.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1086/314317>
- Almli, V. L., Næs, T., Enderli, G., Sulmont-Rossé, C., Issanchou, S., & Hersleth, M. (2011). Consumers' acceptance of innovations in traditional cheese. A comparative study in France and Norway. *Appetite*, 57(1), 110–120.
<https://doi.org/10.1016/j.appet.2011.04.009>
- Anderson, R. E. (1973). Dissatisfaction : The Expectancy Perceived. *Journal of Marketing Research*, 10(1), 38–44.
- Baharuddin, A. R., & Sharifudin, M. S. (2015). The impact of geographical location on taste sensitivity and preference. *International Food Research Journal*, 22(2), 731–738.
- Banovic, M., Fontes, M. A., Barreira, M. M., & Grunert, K. G. (2012). Impact of Product Familiarity on Beef Quality Perception. *Agribusiness*, 28(2), 157–172.
<https://doi.org/10.1002/agr>
- Berlyne, D. E. (1970). Novelty, complexity, and hedonic value. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 8, 279–286. <https://doi.org/10.3758/BF03212593>
- Birch, L. L., & Davison, K. K. (2001). Family Environmental Factors Influencing the Developing Behavioural Controls of Food Intake and Childhood Overweight. *Pediatric Clinics of North America*, 48(4), 893–907.
[https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/S0031-3955\(05\)70347-3](https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/S0031-3955(05)70347-3)
- Borgogno, M., Favotto, S., Corazzin, M., Cardello, A. V., & Piasentier, E. (2015). The role of product familiarity and consumer involvement on liking and perceptions of fresh meat. *Food Quality and Preference*, 44, 139–147.
<https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2015.04.010>
- Caporale, G., & Monteleone, E. (2004). Influence of information about manufacturing process on beer acceptability. *Food Quality and Preference*, 15(3), 271–278.
[https://doi.org/10.1016/S0950-3293\(03\)00067-3](https://doi.org/10.1016/S0950-3293(03)00067-3)
- Caporale, G., Sonia, P., Angela, C., & Erminio, M. (2006). Consumer expectations for sensory properties in virgin olive oils. *Food Quality and Preference*, 17(1–2), 116–125.
<https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2005.07.011>
- Cardello, A. V. (2007). Measuring consumer expectations to improve food product development. *Consumer-Led Food Product Development*, (2), 223–261.
<https://doi.org/10.1533/9781845693381.2.223>
- Cardello, A. V. (1994). Consumer expectations and their role in food acceptance. *Measurement of Food Preferences*, 253–297. https://doi.org/10.1007/978-1-4615-2171-6_10
- Cardello, A. V., & Sawyer, F. M. (1992). Effects of Disconfirmed Consumer Expectations on Food Acceptability. *Journal of Sensory Studies*, 7(4), 253–277.
<https://doi.org/10.1111/j.1745-459X.1992.tb00194.x>

- Chambers, D. H., Esteve, E., & Retiveau, A. (2010). Effect of milk pasteurization on flavor properties of seven commercially available French cheese types. *Journal of Sensory Studies*, 25(4), 494–511. <https://doi.org/10.1111/j.1745-459X.2010.00282.x>
- Chocarro, R., Cortiñas, M., & Elorz, M. (2009). The impact of product category knowledge on consumer use of extrinsic cues - A study involving agrifood products. *Food Quality and Preference*, 20(3), 176–186. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2008.09.004>
- Chung, L., Chung, S. J., Kim, J. Y., Kim, K. O., O'Mahony, M., Vickers, Z., ... Kim, H. R. (2012). Comparing the liking for Korean style salad dressings and beverages between US and Korean consumers: Effects of sensory and non-sensory factors. *Food Quality and Preference*, 26(1), 105–118. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2012.03.011>
- Cniel. (2016). L'économie Laitière en chiffres, 18–105. Retrieved from <http://fr.calameo.com/read/002230051cdfa9ea35988>
- Cooke, L. (2007). The importance of exposure for healthy eating in childhood: a review. *The Journal of Human Nutrition and Dietetics*, 20(4), 294–301. Retrieved from <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1365-277X.2007.00804.x/epdf>
- d'Hauteville, F., Fornerino, M., & Philippe Perrouy, J. (2007). Disconfirmation of taste as a measure of region of origin equity. *International Journal of Wine Business Research*, 19(1), 33–48. <https://doi.org/10.1108/17511060710740334>
- Deliza, R., MacFIE, H., & Hedderley, D. (2003). Use of Computer-Generated Images and Conjoint Analysis To Investigate Sensory Expectations. *Journal of Sensory Studies*, 18(6), 465–486. <https://doi.org/10.1111/j.1745-459X.2003.tb00401.x>
- Deliza, R., & MacFIE, H. J. H. (1996). The Generation of Sensory Expectation by External Cues and Its Effect on Sensory Perception and Hedonic Ratings : a Review. *Journal of Sensory Studies*, 11(2), 103–128.
- Di Monaco, R., Cavella, S., Di Marzo, S., & Masi, P. (2004). The effect of expectations generated by brand name on the acceptability of dried semolina pasta. *Food Quality and Preference*, 15(5), 429–437. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2003.07.003>
- Distel, H., Ayabe-Kanamura, S., Martinez-Gomez, M., Schicker, I., Kobayakawa, T., Saito, S., & Hudson, R. (1999). Perception of everyday odors - Correlation between intensity, familiarity and strength of hedonic judgement. *Chemical Senses*, 24(2), 191–199. <https://doi.org/10.1093/chemse/24.2.191>
- Distel, H., & Hudson, R. (2001). Judgement of odor intensity is influenced by subjects' knowledge of the odor source. *Chemical Senses*, 26(3), 247–251. <https://doi.org/10.1093/chemse/26.3.247>
- Dora, C., Egidio, R., Rita, S., & Nicola, A. D. C. (1994). La representataion sociale de l'argent, 4, 1–21.
- Fenko, A., Backhaus, B. W., & van Hoof, J. J. (2015). The influence of product- and person-related factors on consumer hedonic responses to soy products. *Food Quality and Preference*, 41, 30–40. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2014.11.009>
- Fischer, A. R. H., & Frewer, L. J. (2009). Consumer familiarity with foods and the perception of risks and benefits. *Food Quality and Preference*, 20(8), 576–585.

<https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2009.06.008>

- Guerrero, L., Claret, A., Verbeke, W., Enderli, G., Zakowska-Biemans, S., Vanhonacker, F., ... Hersleth, M. (2010). Perception of traditional food products in six European regions using free word association. *Food Quality and Preference*, *21*(2), 225–233. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2009.06.003>
- Hartmann, C., Shi, J., Giusto, A., & Siegrist, M. (2015). The psychology of eating insects: A cross-cultural comparison between Germany and China. *Food Quality and Preference*, *44*, 148–156. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2015.04.013>
- Hong, J. H., Park, H. S., Chung, S. J., Chung, L., Cha, S. M., Lê, S., & Kim, K. O. (2014). Effect of familiarity on a cross-cultural acceptance of a sweet ethnic food: A case study with Korean traditional cookie (Yackwa). *Journal of Sensory Studies*, *29*(2), 110–125. <https://doi.org/10.1111/joss.12087>
- Imm, B. Y., Lee, J. H., & Lee, S. H. (2012). Effects of sensory labels on taste acceptance of commercial food products. *Food Quality and Preference*, *25*(2), 135–139. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2012.01.010>
- ISO International Organization for Standardization. (2007). Sensory analysis — General guidance for the design of test rooms. *ISO 8589:2007*, (Geneva, Switzerland).
- Kähkönen, P., & Tuorila, H. (1998). Effect of Reduced-fat Information on Expected and Actual Hedonic and Sensory Ratings of Sausage. *Appetite*, *30*(1), 13–23. <https://doi.org/10.1006/appe.1997.0104>
- Kim, Y. K., Jombart, L., Valentin, D., & Kim, K. O. (2015). Familiarity and liking playing a role on the perception of trained panelists: A cross-cultural study on teas. *Food Research International*, *71*, 155–164. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2015.03.022>
- Laureati, M., Conte, A., Padalino, L., Del Nobile, M. A., & Pagliarini, E. (2016). Effect of Fiber Information on Consumer's Expectation and Liking of Wheat Bran Enriched Pasta. *Journal of Sensory Studies*, *31*(4), 348–359. <https://doi.org/10.1111/joss.12218>
- Laureati, M., Jabes, D., Russo, V., & Pagliarini, E. (2013). Sustainability and organic production: How information influences consumer's expectation and preference for yogurt. *Food Quality and Preference*, *30*(1), 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2013.04.002>
- Lee, J., Chambers, E., Chambers, D. H., Chun, S. S., Oupadissakoon, C., & Johnson, D. E. (2010). Consumer acceptance for green tea by consumers in the United States, Korea and Thailand. *Journal of Sensory Studies*, *25*(SUPPL. 1), 109–132. <https://doi.org/10.1111/j.1745-459X.2010.00287.x>
- Lenglet, F. (2014). Influence of terroir products meaning on consumer's expectations and likings. *Food Quality and Preference*, *32*(PA), 264–270. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2013.09.003>
- Methven, L., Langrenney, E., & Prescott, J. (2012). Changes in liking for a no added salt soup as a function of exposure. *Food Quality and Preference*, *26*(2), 135–140. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2012.04.012>
- Moskowitz, H. W., Kumaraiah, V., Sharma, K., Jacobs, H., & Sharma, S. (1975). Cross-

- Cultural Differences in Simple Taste Preferences. *Science*, 190(4220), 1217–1218.
<https://doi.org/DOI: 10.1126/science.1198109>
- Napolitano, F., Braghieri, A., Piasentier, E., Favotto, S., Naspetti, S., & Zanolli, R. (2010). Cheese liking and consumer willingness to pay as affected by information about organic production. *Journal of Dairy Research*, 77(3), 280–286.
<https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2009.08.007>
- Pagès, J., Bertrand, C., Ali, R., Husson, F., & Lê, S. (2007). Sensory analysis comparison of eight biscuits by French and Pakistani panels. *Journal of Sensory Studies*, 22(6), 665–686.
- Prescott, J. (1998). Comparisons of taste perceptions and preferences of Japanese and Australian consumers: overview and implications for cross-cultural sensory research. *Food Quality and Preference*, 9(6), 393–402. [https://doi.org/10.1016/S0950-3293\(98\)00021-4](https://doi.org/10.1016/S0950-3293(98)00021-4)
- Prescott, J., & Bell, G. (1995). Cross-cultural determinants of food acceptability: Recent research on sensory perceptions and preferences. *Trends in Food Science and Technology*, 6(6), 201–205. [https://doi.org/10.1016/S0924-2244\(00\)89055-X](https://doi.org/10.1016/S0924-2244(00)89055-X)
- Prescott, J., Young, O., O'Neill, L., Yau, N. J. ., & Stevens, R. (2002). Motives for food choice: A comparison of consumers from Japan, Taiwan, Malaysia and New Zealand. *Food Quality and Preference*, 13(7–8), 489–495. [https://doi.org/10.1016/S0950-3293\(02\)00010-1](https://doi.org/10.1016/S0950-3293(02)00010-1)
- Prescott, J., Young, O., Zhang, S., & Cummings, T. (2004). Effects of added “flavour principles” on liking and familiarity of a sheepmeat product: A comparison of Singaporean and New Zealand consumers. *Food Quality and Preference*, 15(2), 187–194. [https://doi.org/10.1016/S0950-3293\(03\)00057-0](https://doi.org/10.1016/S0950-3293(03)00057-0)
- Rakotosamimanana, V. R., Arvisenet, G., & Valentin, D. (2015). Role of Languages in Consumers’ Food Description: Contrasting Malagasy and French Descriptors of Moringa oleifera Leaf Powder. *Journal of Sensory Studies*, 30(3), 181–194.
<https://doi.org/10.1111/joss.12147>
- Rao, A. R., & Monroe, B. K. (1988). The Moderating Effect of Prior Knowledge on Cue Utilization in Product Evaluations. *Journal of Consumer Research*, 15(2), 253–264.
<https://doi.org/10.1086/675377>
- Raudenbush, B., & Frank, R. A. (1999). Assessing Food Neophobia: The Role of Stimulus Familiarity. *Appetite*, 32(2), 261–271. <https://doi.org/10.1006/appe.1999.0229>
- Rozin, P., Ashmore, M., & Markwith, M. (1996). Lay American conceptions of nutrition: dose insensitivity, categorical thinking, contagion, and the monotonic mind. *Health Psychology*, 15(6), 438–447. <https://doi.org/10.1037/0278-6133.15.6.438>
- Rozin, P., Fischler, C., Shields, C., & Masson, E. (2006). Attitudes towards large numbers of choices in the food domain: A cross-cultural study of five countries in Europe and the USA. *Appetite*, 46(3), 304–308. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2006.01.017>
- Sabbe, S., Verbeke, W., & Van Damme, P. (2009). Confirmation/disconfirmation of consumers’ expectations about fresh and processed tropical fruit products. *International Journal of Food Science and Technology*, 44(3), 539–551.

<https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2008.01842.x>

- Sáenz-Navajas, M. P., Ballester, J., Peyron, D., & Valentin, D. (2014). Extrinsic attributes responsible for red wine quality perception: A cross-cultural study between France and Spain. *Food Quality and Preference*, *35*, 70–85. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2014.02.005>
- Schifferstein, H. N., Kole, a P., & Mojet, J. (1999). Asymmetry in the disconfirmation of expectations for natural yogurt. *Appetite*, *32*(1973), 307–329. <https://doi.org/10.1006/appe.1998.0208>
- Seo, H. S., Buschhüter, D., & Hummel, T. (2008). Contextual influences on the relationship between familiarity and hedonicity of odors. *Journal of Food Science*, *73*(6), 273–278. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2008.00818.x>
- Siret, F., & Issanchou, S. (2000). Traditional process: influence on sensory properties and on consumers' expectation and liking Application to "pâté de campagne." *Food Quality and Preference*, *11*(3), 217–228. [https://doi.org/10.1016/S0950-3293\(99\)00058-0](https://doi.org/10.1016/S0950-3293(99)00058-0)
- Skinner, J. D., Carruth, B. R., Bounds, W., Ziegler, P., & Reidy, K. (2002). Do food-related experiences in the first 2 years of life predict dietary variety in school-aged children? *Journal of Nutrition Education and Behavior*, *34*(6), 310–315. [https://doi.org/10.1016/S1499-4046\(06\)60113-9](https://doi.org/10.1016/S1499-4046(06)60113-9)
- Stefani, G., Romano, D., & Cavicchi, A. (2006). Consumer expectations, liking and willingness to pay for specialty foods: Do sensory characteristics tell the whole story? *Food Quality and Preference*, *17*(1–2), 53–62. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2005.07.010>
- Stein, L. J., Nagai, H., Nakagawa, M., & Beauchamp, G. K. (2003). Effects of repeated exposure and health-related information on hedonic evaluation and acceptance of a bitter beverage. *Appetite*, *40*(2), 119–129. [https://doi.org/10.1016/S0195-6663\(02\)00173-3](https://doi.org/10.1016/S0195-6663(02)00173-3)
- Sullivan, S. A., & Birch, L. L. (1990). Pass the Sugar, Pass the Salt: Experience Dictates Preference. *Developmental Psychology*, *26*(4), 546–551. <https://doi.org/10.1037/0012-1649.26.4.546>
- Symoneaux, R., Galmarini, M. V., & Mehinagic, E. (2012). Comment analysis of consumer's likes and dislikes as an alternative tool to preference mapping. A case study on apples. *Food Quality and Preference*, *24*(1), 59–66. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2011.08.013>
- Syndicat Maroilles. (2016). www.maroilles-infos.com.
- Torres-Moreno, M., Tarrega, A., Torrecasana, E., & Blanch, C. (2012). Influence of label information on dark chocolate acceptability. *Appetite*, *58*(2), 665–671. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2011.12.005>
- Torri, L., Jeon, S. Y., Piochi, M., Morini, G., & Kim, K. O. (2017). Consumer perception of balsamic vinegar: A cross-cultural study between Korea and Italy. *Food Research International*, *91*, 148–160. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.12.003>
- Tu, V. P., Valentin, D., Husson, F., & Dacremont, C. (2010). Cultural differences in food description and preference: Contrasting Vietnamese and French panellists on soy

- yogurts. *Food Quality and Preference*, 21(6), 602–610.
<https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2010.03.009>
- Tuorila, H., Cardello, A. V., & Leshner, L. (1994). Antecedents and Consequences of Expectations Related to Fat-free and Regular-fat food. *Appetite*, 23, 247–263.
- Tuorila, H., Huotilainen, A., Lähteenmäki, L., Ollila, S., Tuomi-Nurmi, S., & Urala, N. (2008). Comparison of affective rating scales and their relationship to variables reflecting food consumption. *Food Quality and Preference*, 19(1), 51–61.
<https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2007.06.007>
- Tuorila, H., Lähteenmäki, L., Pohjalainen, L., & Lotti, L. (2001). Food neophobia among the Finns and related responses to familiar and unfamiliar foods. *Food Quality and Preference*, 12(1), 29–37. [https://doi.org/10.1016/S0950-3293\(00\)00025-2](https://doi.org/10.1016/S0950-3293(00)00025-2)
- Tuorila, H., Meiselman, H. ., Bell, R., Cardello, A. ., & Johnson, W. (1994). Role of Sensory and Cognitive Information in the Enhancement of Certainty and Linking for Novel and Familiar Foods. *Appetite*. <https://doi.org/10.1006/appe.1994.1056>
- Varela, P., Ares, G., Giménez, A., & Gámbaro, A. (2010). Influence of brand information on consumers' expectations and liking of powdered drinks in central location tests. *Food Quality and Preference*, 21(7), 873–880. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2010.05.012>
- Verbeke, W., & Poquiviqui López, G. (2005). Ethnic food attitudes and behaviour among Belgians and Hispanics living in Belgium. *British Food Journal*, 107(11), 823–840.
<https://doi.org/10.1108/00070700510629779>
- Verbeke, W., Scholderer, J., & Lähteenmäki, L. (2009). Consumer appeal of nutrition and health claims in three existing product concepts. *Appetite*, 52(3), 684–692.
<https://doi.org/10.1016/j.appet.2009.03.007>
- Westcombe, A., & Wardle, J. (1997). Influence of Relative Fat Content Information on Responses to Three Foods. *Appetite*, 28(1), 49–62.
<https://doi.org/10.1006/appe.1996.0066>
- Westling, M., Danielsson-Tham, M.-L., Jass, J., Nilsen, A., Öström, Å., & Tham, W. (2016). Contribution of Enterobacteriaceae to Sensory Characteristics in Soft Cheeses Made from Raw Milk. *Procedia Food Science*, 7(0), 17–20.
<https://doi.org/10.1016/j.profoo.2016.02.075>
- Zajonc, R. B. (1968). Attitudinal effects of mere exposure. *Journal of Personality and Social Psychology*, 9(2), 1–27.

Appendix 1

Q1. What brand (s) of Maroilles do you know? Many possible answers.

Q2. Among the brands of Maroilles that you mentioned, which one(s) do you consume? And, how often? Many possible answers

	More than once a day	Every day	More than once a week	One a week	More than once a month	Once a month	Less often	never
.....								
.....								
.....								

Q3. What kind of cheese is Maroilles? Only one answer possible.

- Soft cheese with natural rind
- Pressed and cooked cheese
- Soft cheese with washed rind
- Blue paste
- Fresh cheese

Q4. From which geographical origin Maroilles is? Only one answer possible.

- Eastern region
- Southern region
- Northern region
- Western region
- Central region

Q5. What is the shape of Maroilles? Only one answer possible.

- Square
- Round
- Pyramidal
- Cylindrical
- Whole cheese with concave heel

Q6. What is the color of the Maroilles crust? Only one answer possible.

- White

- Yellow orange
- Gray-Black
- Blue
- Brown

Q7. From which type of milk, the Maroilles cheese is manufactured? Only one answer possible.

- Cow's milk
- Goat's milk
- Sheep's milk
- Asses' milk
- Buffalo's milk

Q8. Where does the name of Maroilles come from? Only one answer possible.

- From a Maroilles village
- From a local volcanic terrain
- From a manufacturing process
- From ferments used (*Maroillus cerevisiae*)
- From the name of a local notable

Q9. Among the following adjectives, which one corresponds to the name of a Maroilles size? Only one answer possible.

- Mignon
- Gentil
- Hug
- Charming
- Delicate

Q10. Among the following brands, which one corresponds to a well-known brand of Maroilles? Only one answer possible.

- Fauchon
- Fromont
- Fauquet
- Crackers
- Marol

3 Conclusion

La familiarité vis-à-vis du Maroilles des consommateurs lillois apparaît très clairement par rapport à celle des consommateurs angevins que ce soit au niveau des connaissances théoriques, que de la fréquence de consommation. Nos résultats montrent que la familiarité en termes d'exposition conduit à une augmentation des connaissances théoriques et des marques de Maroilles : à Lille, les scores du test théorique, ainsi que le nombre de marques citées sont plus élevés qu'à Angers. Cette familiarité avec le produit engendre également l'obtention de notes hédoniques plus élevées à Lille qu'à Angers. De plus, parmi les composantes de la familiarité, les connaissances théoriques semblent jouer un rôle important sur les attentes du consommateur. La familiarité, en termes de connaissances théoriques et d'exposition, constitue donc un pilier fondamental pour l'expertise des consommateurs et influence leurs choix.

Dans cette étude, nous avons fait le choix d'utiliser les vrais emballages de Maroilles, auprès desquels le consommateur est exposé, afin d'être dans les conditions réelles du marché. Néanmoins, cet emballage contient une très grande quantité d'informations telles que les labels, la marque, l'étiquette, les informations techniques (poids, Maroilles, fermier, ...) mais il véhicule également des caractéristiques esthétiques (images, couleurs, typographie, ...). Cette étude nous permet de mesurer l'influence de l'emballage sur les préférences et les attentes des consommateurs. Par contre, nous ne pouvons pas savoir quelle composante de l'emballage a "attiré l'œil du consommateur " et a permis d'influencer ses choix. Notamment, ce point nous empêche de mieux cibler l'influence de la notion de "Maroilles fermier" sur le choix des consommateurs. Même si l'indication "fermier" est présente sur tous les emballages, elle est noyée dans une multitude d'autres informations qui ne sont pas homogènes sur tous les emballages.

Nous venons de voir que la familiarité joue un rôle important sur les choix des consommateurs, notamment sur leur appréciation des produits et sur leurs attentes vis-à-vis de ces produits. Pour essayer d'aller un peu plus loin dans la compréhension de ce phénomène, nous allons voir dans le chapitre suivant, si la familiarité modifie les représentations que les consommateurs ont du Maroilles fermier.

**CHAPITRE 5. LA FAMILIARITÉ MODIFIE-T-
ELLE LES REPRÉSENTATIONS SOCIALES DU
MAROILLES FERMIER**

1 Introduction

Dans le chapitre 1, des différences entre le Maroilles fermier et industriel ont été mises en évidence au travers d'analyses physicochimiques et microbiologiques et ces différences sont bel et bien perçues par les consommateurs. Dans le chapitre 4, nous avons évalué l'effet de la familiarité avec le Maroilles sur les préférences et les attentes des consommateurs. Néanmoins, l'influence de la notion de Maroilles fermier n'a pas pu être clairement mise en évidence puisqu'elle était confondue avec d'autres informations véhiculées par l'emballage des Maroilles. Dans ce chapitre, nous proposons une analyse des représentations sociales du Maroilles fermier avec quatre groupes de consommateurs de différents niveaux de familiarité vis-à-vis du Maroilles.

L'étude des représentations sociales est une démarche qui simplifie la compréhension de concept ambigu ou la perception des nouveaux aliments, par exemple le concept de minéralité du vin (Rodrigues et al., 2015). D'un autre côté, les représentations sociales peuvent orienter les producteurs sur leur démarche marketing et leur permettre de mieux comprendre les besoins des consommateurs. Dans cette partie, afin d'évaluer l'influence de la familiarité vis-à-vis du Maroilles sur les représentations sociales, nous étudierons les représentations sociales du Maroilles fermier de quatre groupes de consommateurs variant selon leur niveau de familiarité (Angevins, Lillois, du Thiérache et des professionnels) en utilisant une tâche d'association avec comme mot inducteur « Maroilles fermier ».

2 Article

Le résultat de l'étude se présente sous la forme d'un article de recherche en préparation pour soumettre à *Appetite*.

Does familiarity modify the representations of artisanal Maroilles cheeses?

Nacef, M.¹, Lelièvre-Desmas, M.¹, Symoneaux, R.², Flahaut, C.¹ and Chollet, S*.¹

¹ISA, Univ. Lille, INRA, Univ. Artois, Univ. Littoral Côte d'Opale, EA 7394 - ICV - Institut Charles Viollette, F-59000 Lille, France; ²USC 1422 GRAPPE, INRA, Ecole Supérieure d'Agricultures, Univ. Bretagne Loire, SFR 4207 QUASAV, SensoVeg, 55 rue Rabelais 49100 Angers, France.

* Corresponding author. Address : ISA Lille, 48 Boulevard Vauban, 59046 Lille Cedex, France.

Tel.: +33 3.28.38.46.36; Fax: +33 3.28.38.48.47

E-mail address: sylvie.chollet@yncrea.fr

Key words:

Artisanal Maroilles, Cheese, Social representation, Familiarity

ABSTRACT

Artisanal cheeses are part of the French gastronomic heritage. Maroilles is one of the 45 PDO French cheeses produced in the Thiérache area, North of France, with 6.5% of artisanal manufacture. Despite a production doubled in 20 years and a return to popularity in all France thanks to a French popular movie, 75% of the production are sold within a radius of 200km around the production area. Some keys to understand why Maroilles is poorly exported outside its production area can be supported by the study of its social representation.

Four groups from different places in France more or less distant from the Maroilles production area (Maroilles professionals n = 25, Thiérache n = 67, Lille at 80km n = 67 and Angers at 500km n = 67 inhabitants) were interviewed. Participants were asked to perform: (1) free word association task using "Artisanal Maroilles" as inductor word, (2) ranking task of the evoked words according to their importance, and (3) valence rating of each evoked word. Each word was characterized by a mean importance value and a frequency of elicitation to identify its role as central or peripheral element in the representation. Overall the four groups of participants have a well-structured social representation of artisanal Maroilles, even if a gradient is observed with the familiarity: professionals are more consensual than Angers participants. The three groups of Professionals, Thiérache and Lille share *raw milk* as a core element of their representation, in opposition to Angers participants who associate artisanal Maroilles with just *milk*. Thiérache and Lille groups also share elements related to tradition and history. The sensory elements, negatively connoted, are important and frequent for Angers participants. Results showed that consumers strongly associate artisanal Maroilles to the north. Combined with its negative sensory properties, it can explain why Maroilles cheese remains a localized product.

1-Introduction

Factors that lead the choice and the consumption, or on the contrary, the reject of a food product by the consumer are numerous and diverse. Some are connected to the product itself, e.g. sensory characteristics, price, availability, packaging, advertising, etc. whereas others are inherent to the consumer himself, to its experience with the product, its familiarity, its history, its culture, etc. According to Rozin (1988), the “symbolic” factors (knowledge of the nature, origin, meaning of the food) can be decisive for the acceptance or reject of a food product, independently of the organoleptic factors. These symbolic characteristics are a component of the representation of the consumed food. The consumer buys food for what it represents and these representations will determine its choice among the multiple options offered to him, as Lewin (1943, cited by Saadi, 1998) showed it a long time ago. As noted by Saadi (1998), food representations are not only a psychosociological fact but also a major economic issue. Social representations are often used to study ambiguous concepts or consumer’s perception of new foods, e.g. the concept of wine complexity (Parr, Mouret, Blackmore, Pelquest-Hunt, & Urdapilleta, 2011), the concept of wine minerality (Heber Rodrigues, Ballester, Saenz-Navajas, & Valentin, 2015) or edible flowers (Rodrigues et al., 2017). But social representations are more and more of interest to understand and explain consumers’ attitude and motivations toward food items like rice (Son et al., 2014), lamb meat (de Andrade, de Aguiar Sobral, Ares, & Deliza, 2016) or oyster-based products (Debusquet, Cornet, Adam, & Cardinal, 2012).

From now on, social representations of food products are concepts that producers and distributors take into account in their development and sale strategies, as already noticed by Son et al. (2014) about the rice market. A good example of the importance of the representations for the marketing is the one of another French cheese: the Camembert. The official PDO denomination for the Camembert is “From Normandy” (“De Normandie” in French), corresponding to technical specifications including the use raw Norman milk and the manufacture in a Norman plant. Until recently, dairy industrials used the name “Camembert manufactured in Normandy” (“Camembert fabriqué en Normandie” in French) for their cheeses manufactured in a Norman plant but with milk that could come from other French regions than Normandy. By using this denomination similar to the official one, industrial manufacturers play with the consumers’ representation of the Camembert cheese to market

their product because they know that in consumers' mind, a good Camembert cheese is Norman.

Due to their social nature, the collective representations differ from one society to another one, from a culture to another one. It is well known that social representations are subject to cultural variations along with knowledge and expertise (Lo Monaco & Guimelli, 2008b). Several studies compared the social representations of a given food product in different countries (Bartels & Reinders, 2010; Gómez-Corona, Lelievre-Desmas, Escalona Buendía, Chollet, & Valentin, 2016; Mäkineniemi, Pirttilä-Backman, & Pieri, 2011; Mouret, Lo Monaco, Urdapilleta, & Parr, 2013; Son et al., 2014) and found that culture influences group representations “by moulding their behavior, orienting their tastes and indicating the direction of the preferences towards a given object” (Gómez-Corona et al., 2016). The impact of the cultural affiliation on the food representations is also true at a lower scale as shown for wine in different French regions by Simonnet-Toussaint et al. (2005) and as it was already pointed out by Abric (1994, 2001) : the cultural factors, closely related to the group history and to its collective memory, have a strong influence on the representations. But to our knowledge, few studies considered the intra-cultural differences of consumers' perception. Soares et al. (2017) compared the representations of a Brazilian cheese by consumers from two different regions of Brazil. The authors, using the same methodology as in inter-cultural studies —word association task— detected differences of perception, indicating that even inside a country, cultural differences can lead to different social representations of a product. Moreover, Lo Monaco & Guimelli (2008) highlighted that the wine consumption habits and wine knowledge give structure to the wine representations. The influence of the expertise level on the wine representational world was also observed by Simonnet-Toussaint et al. (2005). These authors also showed that oenologist students from a French wine region (highest expertise level in their study) had a very positive representation of wine. The same result was already observed by Saadi (1998) on butter: the non-consumer participants associated butter with negative notions (cholesterol, calories, diet, etc.) whereas daily consumers used pragmatic associations (cooking, bread, breakfast, etc.). So then, as synthesized by Abric (1988), “the representation is an organized system of opinions, attitudes, beliefs and information referring to an object or a situation. It is determined by the subject himself/herself (his/her history, his/her background), by the social system he/she is integrated into, and by the nature of the relations between the subject and this social system.”

Maroilles cheese is one of the 28 PDO French cow's milk cheeses, produced in the Thiérache area, North of France. Four industrial and seven artisanal producers share the market of Maroilles, but only 6.5% of its manufacture is artisanal. This production represents not more than 20 different brands. This production is in full growth since it doubled in 20 years. However, 75% of the production are sold within a radius of 200 km around the production area. Understanding why Maroilles is poorly exported outside its production area can be supported by the study of its social representations by French consumers. This question is of interest for Maroilles producers because a better understanding of consumers' perception of this cheese could help the development of strategies to increase its consumption by improving its perception by the consumers. It could also be interesting for the Maroilles producers to understand if the concept of artisanal Maroilles is important for the consumer and what role it plays in the consumer choice.

The objective of the present study was to evaluate if differences of social representation of Maroilles cheese can be observed between consumers with different familiarity degrees with Maroilles, and if yes, what is the nature of the differences? Do they have different representations? Or the same representation with different organizations? We can hypothesize that the social representations of Maroilles is not the same for consumers living in the production area of this cheese and consumers living outside this area. This difference of representations could give some keys to explain why Maroilles is mainly consumed in its production region, and what can be the brakes on its consumption elsewhere. For this purpose, we used a free word association task with four groups of participants from different places in France, more or less distant from the Maroilles production area. The free word association task is the most commonly used method for accessing to the representations (Debucquet et al., 2012; Gómez-Corona et al., 2016; Monaco & Guimelli, 2008; Rodrigues et al., 2017; Rodrigues et al., 2015). As explained by Son et al. (2014), this method is based on an associative network conceptualization of memory structure and it reveals shared features within a group of persons, resulting from similar experience, history. Then we interpreted our data using the structural approach of the social representation (Abric, 1994). According to this theory, the social representations are organized around a central core, corresponding to the group consensus. The central core has a structuring function, it is stable, it gives its meaning and its organization to the representation and it is affected by the collective memory. Around

this core are the peripheral elements, more flexible, sensitive to the context effects, which integrate the individual variations resulting from the individuals' history. Using this approach, we wanted to compare the structure and the content of social representations of Maroilles between four different social groups.

2. Materials and methods

2.1. Participants

Four groups of participants were recruited for the study. The first group consisted of 25 professionals (12 women and 13 men) working in production factories of Maroilles cheese (owners and employees with a minimum of two years working age). They were recruited directly from their workplaces. They will be referred as "professionals" from now. The second group of 69 participants (35 women and 34 men) were inhabitants of different towns situated in the limited production area of Maroilles (*Thiérache region*). They will be referred as "Thiérache" participants from now. The third group of 73 participants (40 women and 33 men) was formed by inhabitants of Lille city, situated at around hundred kilometers from the Thiérache region and the fourth group counted 67 participants (36 women and 31 men) from the city of Angers, far from the Maroilles production area. Participants from the Thiérache, Lille and Angers were recruited directly in the streets, public places and markets. The interviewer stopped any possible person and invited them to participate in the study. All the participants were interviewed by the same experimenter. They were asked to provide information on their cheese and Maroilles consumption frequency (four categories: never, occasionally, once a month, several times a month, once a week, several times a week, once a day and several times a day), as well as socio-demographic characteristics: Age (three age groups: 18-34, 35-54 and over 55), gender, level of education and professional status (SPC) were recorded. All these questions were asked to the participants after the main task, to avoid any influence. The characteristics of each group are given in Table 1. The criterion for inclusion of prospective participants was that their membership in one of the groups is less than 2 years.

Table 1: Demographic characteristic of the four groups of participants recruited for the study (N=234).

Gender	Professionals Thiérache Lille Angers				Professional activity	Professionals Thiérache Lille Angers			
	%	%	%	%		%	%	%	%
Men	52	49	45	46	Farmer	32	1	3	0
Women	48	51	55	54	Artisan	12	10	5	9
Age	%	%	%	%	Professional	28	12	16	4
18-34	24	39	45	46	Employee	28	12	23	28
35-54	48	25	34	33	Worker	0	3	5	4
≥ 55	28	36	21	21	Retired	0	29	14	21
Education level	%	%	%	%	In search of	0	3	8	7
Elementary	8	14	8	1	Student	0	14	16	15
High School	44	57	36	45	No activity	0	16	7	9
University	48	29	56	54	Other	0	0	1	1

2.2. Procedure

The interviews were conducted individually with the participants and lasted approximately 7 minutes. The experiment consisted of a free association task (Abric, 2003; Gómez-Corona et al., 2016; Rodrigues et al., 2015; Vergès, 1992). The participants started with a familiarization task: they had to say four words that spontaneously came to their mind when the experimenter said: “When I say “door”, what comes to your mind?” They were clearly advised that there were no right or wrong answers. The familiarization task was repeated by using “cloud” as the inductor word. When the experimenter was sure that the participant was at ease with the procedure, the main task could start. The participant was asked to give the four words that come to its mind when the experimenter said “Artisanal Maroilles” (In French: “Maroilles fermier”). All the words mentioned by the participants were written by the interviewer or the participants themselves under the control of the last one. Then, the participants had to evaluate the importance of the four words they produced, by classifying them from 1 (the most important) to 4 (the less important). Finally, they were asked to evaluate the valence of each word on a seven-point scale ranging from -3 to +3.

3. Data analysis

The words collected were entered into an excel file for processing.

3.1. Preparation of the data

Before analyzing the quoted words, they have been checked, made coherent and translated in English. These steps were carried out regardless of the group of participants: the words quoted by all the participants were compiled in unique Excel file. The words were first checked and their typing and/or spelling mistakes were corrected (Gómez-Corona et al., 2016). The second step consisted of a lemmatization. The words were formatted by converting them into their root form, also called lemma, i.e. singular form for the nouns, singular masculine for the adjectives and infinitive form for the verbs (Bécue-Bertaut, Alvarez-Esteban, & Pagès, 2008; Gómez-Corona et al., 2016; Mouret et al., 2013; Rodrigues et al., 2015). For example, the words “couleurs”, “couleur”, were grouped under the same root word “couleur”. The third step consisted of the merging of the synonyms and the treatment of the ambiguous words. This step was done first separately by two researchers using a dictionary and their results were then compared and the decision to group words together or left alone was taking with consensus. This step is very important to avoid the elimination of words with low frequencies of citation by grouping them with others. The final stage was the translation of the words in English, again by using a double translation by the same two researchers. In case of agreement, the word was validated, otherwise the translation was discussed to find a consensual translation. Once the words formatted, grouped and translated data analyzes included could be performed for each group of participants separately.

3.2. HAPAX, diversity and rarity index

All the following indices were calculated from the raw data before the different treatments described in part 3.1.

3.2.1. HAPAX

The HAPAX “H” corresponds to the number of words that appear only once in a given corpus.

3.2.2. Diversity index

The diversity index (noted D) is calculated using the following formula:

$$D = \frac{\text{Number of different cited words before lemmatization (T)}}{\text{Total number of cited words (N)}}$$

Diversity index ranges between 0 to 1: a D value close to zero means a low diversity of the quoted words and a D value close or equal to 1 means that the participants generated very different words (i.e., T is equal to N the participants cited different words).

3.2.3. Rarity index

The rarity index (noted R) is calculated by the ratio between the words cited only once (H: HAPAX) and the number of different cited words (T).

The rarity index R is between 0 to 1, with the smaller value and close to zero, the smaller rarity of the words obtained (i.e., R= 0, there is no rare word). When the R value is close to or equal to 1 participants generated a lot of different words (i.e., R=1 the different words are cited once).

3.3. Prototypical analysis

		<i>Importance</i>	
		<i>High</i>	<i>Low</i>
<i>Frequency</i>	<i>High</i>	(A) Central core	(B) First periphery
	<i>Low</i>	(C) Contrasting elements	(D) Second periphery

Fig. 1. Representation of hierarchical evocations from prototypical analysis of social representation (Abric, 2003)

The prototypical analysis, as previously used by Abric (2003), Gómez-Corona et al (2016), Monaco & Guimelli (2008), Rodrigues et al (2015), Vergès (1994) and Vergès, Tyszka, &

Vergès (1994) is an analysis based on the quotation frequencies of the words and their importance. The prototypical analysis separates the quoted words into four distinct categories (fig. 1). The words with a high frequency of citation and a high importance (zone A of fig. 1) correspond to the central core of the social representation. The zone B of fig. 1 gathers the words of the first periphery”, i.e. words with a high frequency of citation but a low importance. At the bottom of the representation are the words with low frequency of citation. On the zone C, the words with a high importance represent the “contrasted words”. This zone represents elements which can change and which are not stable. The zone D, called “second periphery”, gather the words with a low importance. They are considered as not important in the social representation. The frequency cut-off point was obtained by visually displaying the frequency of occurrence of the cited words in decreasing order; the cut-off point was taken to be the frequency at which the difference between two successive frequencies is maximal and taking into account the third quartile for each group of participants separately (Professionals, Thiérache, Lille and Angers). The importance cut-off point was obtained by averaging the ranks of the cited words (1, 2, 3, 4), which represent the theoretical mean of the importance (2.5). Above the cut-off point the values of frequency or importance are considered higher (high importance, high frequency) and the values below are considered as low (low importance, low frequency).

3.4. Polarity index

Polarity index (noted P) as a synthetic measure allowing evaluating the positive or negative attitude associated with the studied social representation (DE Rosa, 2003). We calculated P for each participant and for each quoted word from the valence of the words given by the participant during the test. When P is calculated by participant, it gives an evaluation of the positive or negative connotation of their representation of the concept “Artisanal Maroilles”. The formula is the following:

$$\text{Polarity index } P_{\text{participant}} = \frac{\text{Number of positive words} - \text{Number of negative words}}{\text{Total number of words quoted by the participant}}$$

When calculated by word, P gives the connotation of each quoted word in a given participant group. The formula is the following:

$$\text{Polarity index } P_{\text{word}} = \frac{\text{Number of positive quotation} - \text{Number of negative quotation}}{\text{Total number of quotations}}$$

This P index varies between -1 and +1. If P is between -1 and -0.05, it indicates for the $P_{\text{participant}}$ that most of the words quoted by the considered participant are negatively connoted and for P_{word} that the considered word is negatively connoted in the participant group.

If P is between -0.04 and +0.04, it indicates that the considered participant used as many positive and negative words or that the word was quoted as many times with a positive than with a negative connotation.

If P is between +0.04 and +1, it indicates for the $P_{\text{participant}}$ that most of the words quoted by the considered participant are positively connoted and for P_{word} that the considered word is positively connoted in the participant group.

The interest of this index is that the values are produced from the assessments of the participants themselves and can be used as illustrative variables that characterize our different groups (DE Rosa, 2003).

4. Results

4.1. Characterization of the quoted words

The characteristics of the words associated spontaneously to the inductor word “Artisanal Maroilles” by the four groups of participants are presented in Table 2. Each participant was asked to quote four words. The variation of the total number of quoted words (N) between the four groups of participants is explained by the difference of the size of the groups. So then to compare the values between the groups of participants, the T and HAPAX values were divided by the number of participants in each group (values in brackets in Table 2). The diversity indices of the four groups are quite close and lower than 0.5, indicating a relatively structured social representation of the artisanal Maroilles concept. Nevertheless, this representation seems stronger for professionals than for consumer participants, as their rarity index is lower than 0.5. Moreover, the average HAPAX values increase gradually with the distance to the Maroilles production area: the professionals groups are more consensual in

the words they quoted than Angers participants, as showed by the HAPAX value which is twice more important for Angers than for professionals participants.

These characteristics show that the more the participants are familiar with the Maroilles, the more their representation of the artisanal Maroilles concept is structured, as shown by the use of more homogeneous and consensual words by professionals as compared to Angers participants.

Tableau 2: Characteristics of the words cited by the four groups of participants. The values in brackets indicate the average value per participant.

	Number of participants	Total number of quoted words (N)	Number of different words before lemmatization (T)	HAPAX	Diversity index	Rarity index
Professionals	25	100	33 (1.32)	14 (0.56)	0.33	0.42
Thiérache	69	276	80 (1.16)	46 (0.67)	0.29	0.58
Lille	73	292	116 (1.59)	71 (0.97)	0.40	0.61
Angers	67	268	99 (1.48)	68 (1.01)	0.37	0.69

4.2. Prototypical analysis and polarity index

The frequency cut-off points were different for each participant groups (7 for professionals, 9 for Thiérache participants, 6 for Lille participants, and 5 for Angers participants), indicating a higher agreement on the representation of artisanal Maroilles concept among Thiérache participants than among Angers participants. Figures 2a, b, c and d show the results of the prototypical analysis for the four groups of participants associated with the polarity index calculated for each word.

For Professionals participants (Fig. 2a) the central core (top left zone) which groups the words considered as being very important and shared by most of the participants (high frequency of elicitation) contains only one word (*Raw milk*). The first periphery in the top right zone contains four words: *controlled designation origin (CDO)*, *taste*, *maturing* and *tradition*. The second periphery, (bottom right zone) contains the greatest number of words (7) and there are four contrasting elements (*cow*, *natural milk*, *natural* and *artisanal*) in the bottom left

zone. According to the polarity index, all words have a positive connotation for the Professional participants. The Thiérache participants (Fig. 3b) central core zone is characterized by three words with positive polarity index: *raw milk*, *milk* and *family*. The first periphery contains six words with a positive polarity index (*cow*, *natural*, *region*, *taste*, *pie* and *terroir*). The second periphery contains most of the words, all with a positive polarity index, except the word *strong* that has a negative connotation. The contrasting zone contains only positive words. For Lille participants, Fig. 2c shows that in the central core zone, most of the words associated with the artisanal Maroilles concept have a positive connotation: *quality*, *family*, *raw milk*, *better*, *natural*, *maturing* and *pie*. Only one word (*strong*) has a negative connotation. The first periphery is composed of three positively connoted words (*taste*, *region* and *local*) plus *odor* that has a negative connotation. The second periphery is composed of many words, all with a positive connotation except for the word *expensive* that has a negative polarity index. The contrasting elements of the representation are numerous, but only two words are negatively connoted (*rare* and *price*). The specificity of the prototypical analysis of Lille participants is that in each zone there is at least one negative word. For the last group of Angers participants (Fig. 3d), the prototypical analysis shows a central zone with two positive words (*agriculture* and *milk*) and one word with a negative connotation (*odor*). In the first periphery there are three positive words (*North*, *cow* and *countryside*) and two negative words (*strong* and *taste*). In the second periphery, all the words have a positive polarity index. The contrasting zone has only positive elements, except *smelly* that has a negative polarity index. In this group of participants, the words with a negative connotation describe the sensory properties of Maroilles: *odor*, *strong*, *taste* and *smelly*.

It is interesting to observe that the word *raw milk* is a central core element of the prototypical analyses for the three groups of participants from the North of France (Professionals, Thiérache and Lille), with a higher frequency of citation for professionals and Thiérache participants than for Lille participants. Interestingly, we find the word *milk*, and not *raw milk*, in the central core of the prototypical analysis of Angers participants. Other words are common to Professionals, Thiérache and Lille groups (*CDO*, *artisanal*) but do not appear in the same zones of their prototypical analyzes. In the same way, the words *strong*, *natural* and *pie* are common to the three groups of consumer participants (Thiérache, Lille and Angers) but these elements do not appear in the same zone of the prototypical analysis. *Strong* has a

negative connotation whereas *natural* and *pie* are positively connoted. We can notice that Angers participants are the only ones to have quoted words that do not correspond to the “theoretical” definition of Maroilles cheese: *Alsace*, *ewe* and *mountain* (plus *Britany* and *Normandy*, which do not appear in the prototypical analysis).

Looking specifically at the results of polarity index of the words common to the four groups of participants (11 words, Table 3), it can be observed that the Professionals and the Thiérache participants have only positive values whereas participants from Lille and Angers have also negative values, especially for Angers group that shows a higher heterogeneity in its values. The word *odor* has the less consensual polarity index among the four groups: the professionals and the Thiérache participants evaluated it as positive whereas it is negative for Lille and Angers participants. The word *taste* was also evaluated as negative by the Angers participants but not by the other three groups.

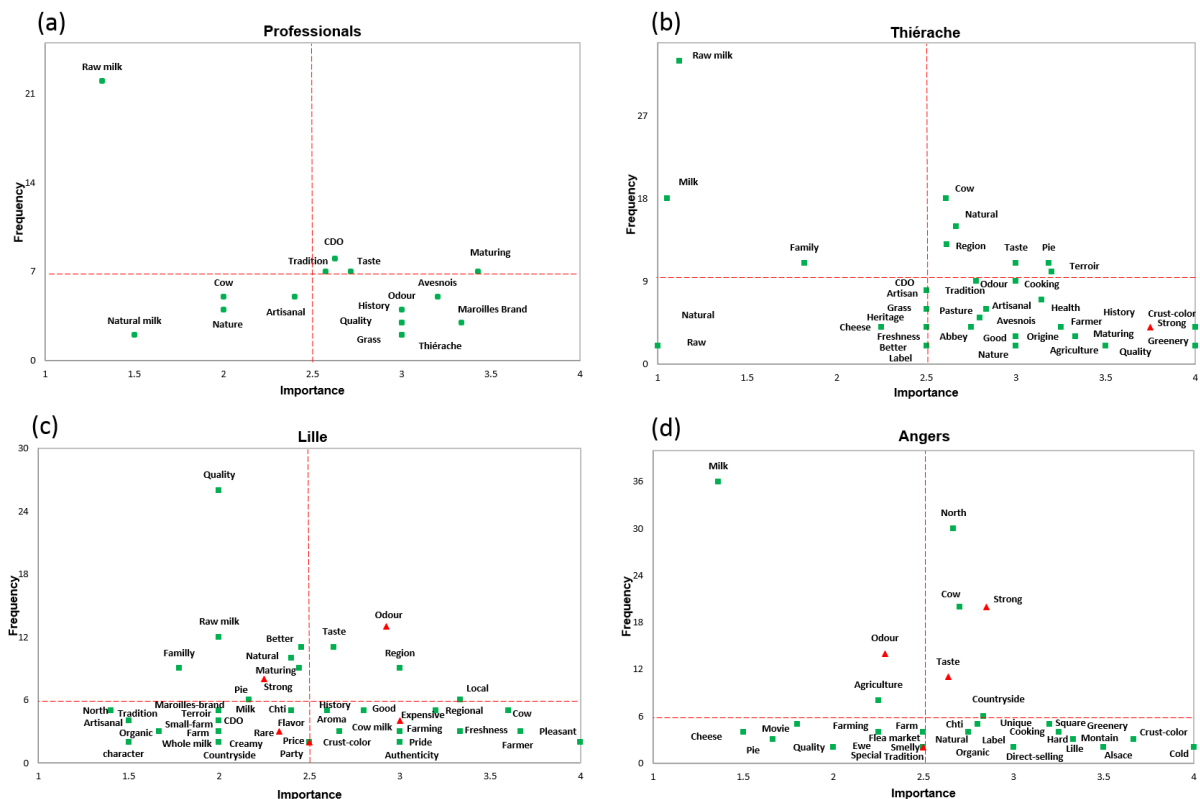


Fig. 2. Prototypical analyses the social representations of artisanal Maroilles for (a) Professionals, (b) Avesnois, (c) Lille, (d) Angers participants. The green squares indicate the words with a positive connotation and the red triangles with a negative connotation, according to the polarity index (P_{word}).

Table 3: Polarity index of the words (P_{word}) common to the four groups of participants.

	Professionals	Thiérache	Lille	Angers
Maturing	1	1	1	1
Crust-color	1	0.50	1	0
Taste	1	0.82	0.82	-0.73
Raw milk	0.95	0.97	1	1
Maroilles Brand	1	1	1	0
Odour	0.75	0.11	-0.62	-1
Quality	1	1	1	1
Region	1	0.92	1	1
Terroir	1	1	1	1
Tradition	1	1	1	1
Cow	0.80	0.78	0.80	0.75

4.3. Attitude of participants

Figures 3a, b, c, d show the polarity indices calculated for each participant of the four groups. In the group of professionals, the polarity index is > 0.5 for all the participants, indicating that the words they associated with artisanal Maroilles have a positive valence. The same thing is observed with the group of Thiérache participants except for three of them who have a polarity index between 0 and -0.4, indicating that they quoted as many positive as negative words. Lille participants are more heterogeneous, with polarity indices varying between 1 and 0. In this group, only one participant presented a negative index (-0.5). Angers participants' group is the one with the most heterogeneous polarity indices with values ranging from +1 to -1, indicating that participants in this group quoted more words with a negative valence than the other groups of participants. Most of the words quoted with a negative valence by Angers participants are related to the sensory properties of Maroilles cheese or its hedonic evaluation: *strong, taste, odour, pungent, eatable, no-desire, smelly, sense, unpleasant*.

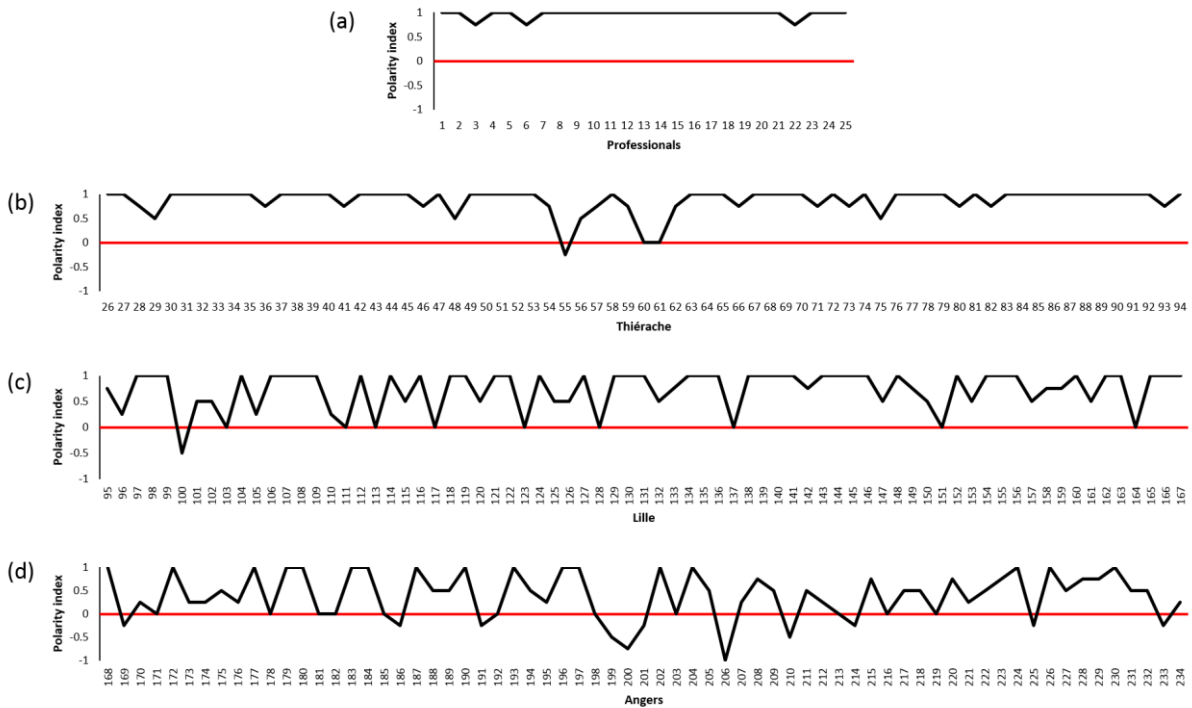


Fig. 3. Polarity index ($P_{\text{participant}}$) calculated for each (a) Professionals, (b) Thiérache, (c) Lille and (d) Angers participants.

5. Discussion

The present study investigated the influence of consumers' familiarity degree on their social representation of artisanal Maroilles cheese. Four groups of participants from different places in France more or less distant from the Maroilles production area carried out a free word association task using "artisanal Maroilles cheese" as inductor word. Their evoked words were analyzed according to the central core theory of social representations (Abric, 1994, 2003, 2005) to bring out the content and the structure (relations between the constituent elements) of this representation.

The first result is that the familiarity with Maroilles improve the structure of the representation: the more participants are familiar with the cheese, the more the structure of their representation is strong and consensual. This effect was already observed by Rodrigues et al. (2015) for the concept of wine minerality. The second result is that only few elements (11 words, see Table 3) are common to the four social representations but several elements are shared by two or three of the groups. Among these common elements, some are included in the same zone of the prototypical analysis but not all. The word *raw milk* is present in the

central core of the representations of the Professionals, Thiérache and Lille participants. Actually, that is the only element that composes the core zone for Professionals. Interestingly, the central core of Angers participants includes the element *milk*, not *raw milk*. This result suggests that Angers participants, the least familiar with Maroilles cheese, have a less accurate knowledge of the artisanal Maroilles ingredients than the three other groups. The use of the words *Alsace*, *ewe*, *mountain*, *Britany* and *Normandy* quoted by Angers participants, supports this interpretation. The group is the only one having cited words that do not match to Maroilles cheese definition. Indeed, an official French order specifies that an artisanal cheese must be manufactured with raw milk coming from the farm where the cheese is produced. This observation is coherent with a previous study on Maroilles that showed that Angers consumers had lower theoretical knowledge on Maroilles cheese than Lille consumers did (Nacef et al., submitted). Professionals, Thiérache and Lille groups also shared the element *artisanal* but not in the same zone of the prototypical analysis. This word is included in the contrasting zone for Professionals and Lille participants. This area regroups elements which have low frequency of citation but that are considered as being very important. It usually reveals the existence of a subgroup with a different representation. In the case of the Professionals group, it can evidence the subgroup of artisan professionals, in opposition to the industrial professionals. Indeed, among the 25 Professionals participants, 17 are artisanal. For them, this *artisanal* element may constitute the central core, in addition to the other elements of this zone. The other elements of the contrasting zone (*Cow*, *Nature*, *Natural milk*) would reinforce this interpretation since artisanal professionals use their own milk from their own cows they farm, contrary to industrial professionals who produce Maroilles cheese with milk coming from different places in the PDO area. Further, for Professionals, the elements found in the central core (*raw milk*) and in the first periphery (*CDO*, *maturing*) show the importance of the technical dimension in their representation.

For Thiérache and Lille participants, the element *family* included in their central core zone demonstrates the integration of the Maroilles cheese in their personal history and so its importance in their identity. Also for Thiérache and Lille groups, the first periphery area includes a regional/local dimension with similar elements: *region* and *terroir* for Thiérache participants, *region* and *local* for Lille participants. Interestingly, it is the word *North* that is included in the first periphery zone of Angers group, reinforcing the idea that Maroilles cheese

is deeply rooted in the North region of France. The three groups of consumers share elements that do not appear in the Professionals representation: *strong*, *natural* and *pie*, but these words are not included in the same zone of the prototypical analysis. The element *pie* refers to a traditional dish of the North of France, proposed by all the regional restaurants of the North of France. Thus, it is not surprising to have it in the central core and in the first periphery zones respectively for Lille and Thiérache participants. This element appears in the contrasting zone of Angers participants, suggesting an element strongly associated with Maroilles cheese representation for a part of Angers consumers. The element *strong* is included in the central core and in the first periphery zone respectively for Lille and Angers groups, indicating that this sensory dimension is very important for these two groups of consumers in their representation of Maroilles cheese. This word *strong* is found in the second periphery zone for Thiérache participants, indicating that this sensory characteristic is less present and considered less important in the representation of this more familiar group. In addition, it is of interest to notice that *strong* has a negative connotation according to the polarity index for the three groups of consumers (Thiérache, Lille and Angers). The comparison of the valence of the words quoted by the four groups of participants leads us to the third result of this study: the Maroilles representation is globally more positive for the more familiar participants. Even more, there is a gradient of valence of the elements with the familiarity: the professionals and the Thiérache participants had only positive elements whereas Angers participants is the group with the most negative elements in its representation. This result is in accordance with those obtained by Monaco & Guimelli (2008) who showed that the social representation of wine is globally negative for non-consumers and non-experts whereas wine is associated with positive dimensions for wine consumers and wine experts. In the same way, (Saadi) 1998 showed that the non-consumption of butter correspond to negative associations. This effect was specifically studied by Bordarie & Gaymard (2015) who demonstrated that the distance to the object affected the representational elements' valence: the more the participants felt concerned with the studied social object, the more they related positive elements to the representation of this social object. This concept of "distance to the object" was theorized by Abric, (2001) and then tested by Dany & Abric (2007) and by Dany, Apostolidis, & Harabi (2014). According to Abric (2001), the relation between the social group and the representational object is composed of three elements: the level of practices, the involvement and the knowledge associated with the object. According to Dany & Abric (2007) Dany & Abric,

the level of practices concerns the type of practices regarding the object, the involvement corresponds to the level of concern of the individuals for the object, more as observers or as actors (the more the individual is involved, the more is considered as an actor) and finally the knowledge refers to the more or less correct identification of the object by the individuals. Therefore, the social representations could not be studied without considering the distance of the group to the studied object. Indeed, Fraïssé (2000), studying the social representation of natural medicine, showed that the absence of maintained practices with regard to the object leads to an absence of structuration of the studied social representation. In addition, Guimelli (2001, 2002) showed that according to the level of implication of the individual, the elements of the representation are not the same.

This concept of distance to the object can be applied to our study in order to explain our results. Indeed, the notion of familiarity finds its place here and can easily be related to the distance to the object. Familiarity is a complex notion related to a personal experience with the product, also called exposure. Although, consumption habits is the main factor that contributes in building familiarity with a food product, the notion of familiarity can also integrate knowledge, level of practices, cultural aspects, among others. Thus, we can consider that our four groups of participants, defined as having a different level of familiarity with Maroilles, have a different distance to this representational object. Their level of knowledge, practices and involvement differ but not in a linear way for each dimension. It can explain why some elements of the representation are common to two or three groups, why other elements are common to other groups and why the structure of their social representations is not exactly the same.

6. Conclusion

Our study used the social representation approach to study the perception of a food product (artisanal Maroilles cheese) by four groups of French consumers differing in their degree of familiarity with the product. This methodology allowed us to highlight some elements to explain an economical fact: Maroilles cheese is poorly exported outside its production area, despite a growth that doubled in 20 years. The present data show that despite common elements, the social representation of Maroilles cheese differs across the four groups. Specifically, we observed a gradient with the degree of familiarity: Professionals participants

(the most familiar) have a more consensual and more structured representation than Angers participants (the less familiar). In addition, the more participants are familiar with the Maroilles, the more they show a positive valence of their representational elements.

From an applicative outlook, this study can provide indications for Maroilles producers and distributors to develop marketing strategies intended for non-familiar consumers outside the North of France.

References

- Abric, J.-C. (1994). L'organisation interne des représentations sociales: système central et système périphérique, in guimelli CH. *Structures et Transformations Des Représentations Sociales*, 73–84.
- Abric, J.-C. (2003). *Méthodes d'étude des représentations sociales*. Erès.
- Abric, J.-C. (2005). *La recherche du noyau central et de la zone muette des représentations sociales*. Érès.
- Abric, J. C. (1988). L'étude expérimentale des représentations sociales. In, JODELET, D.(Org.). *Les Représentations Sociales*, 187–203.
- Abric, J. C. (2001). L'approche structurale des représentations sociales: développements récents. *Psychologie et Société*, 4(2), 81–104.
- Bartels, J., & Reinders, M. J. (2010). Social identification, social representations, and consumer innovativeness in an organic food context: A cross-national comparison. *Food Quality and Preference*, 21(4), 347–352.
<https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2009.08.016>
- Bécue-Bertaut, M., Alvarez-Esteban, R., & Pagès, J. (2008). Rating of products through scores and free-text assertions: Comparing and combining both. *Food Quality and Preference*, 19(1), 122–134.
- Bordarie, J., & Gaymard, S. (2015). Social representations and public policy: Influence of the distance from the object on representational valence. *Open Journal of Social Sciences*, 3(9), 300.
- Dany, L., & Abric, J.-C. (2007). Distance à l'objet et représentations du cannabis. *Revue Internationale de Psychologie Sociale*, 20(3), 77–104.
- Dany, L., Apostolidis, T., & Harabi, S. (2014). Distance to the object and social representations: replication and further evidences. *The Spanish Journal of Psychology*, 17.
- de Andrade, J. C., de Aguiar Sobral, L., Ares, G., & Deliza, R. (2016). Understanding consumers' perception of lamb meat using free word association. *Meat Science*, 117,

68–74. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2016.02.039>

- DE Rosa, A. S. (2003). Le «réseau d'associations»: une technique pour détecter la structure, les contenus, les indices de polarité, de neutralité et de stéréotypie du champ sémantique liés aux représentations sociales. In *Abric (J.-C.), Méthodes d'étude des représentations sociales, Ramonville-Saint-Agne, Érès* (pp. 81–117).
- Debusquet, G., Cornet, J., Adam, I., & Cardinal, M. (2012). Perception of oyster-based products by French consumers. The effect of processing and role of social representations. *Appetite, 59*(3), 844–852.
- Fraïssé, C. (2000). Influence de la fréquence de mise en œuvre de pratiques sur une structuration inter-représentation. *Cahiers Internationaux de Psychologie Sociale, 45*, 85–97.
- Gómez-Corona, C., Lelievre-Desmas, M., Escalona Buendía, H. B., Chollet, S., & Valentin, D. (2016). Craft beer representation amongst men in two different cultures. *Food Quality and Preference, 53*, 19–28. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2016.05.010>
- Guimelli, C. (2001). Étude expérimentale de la représentation sociale comme guide pour l'action: effets de l'implication et de la perception de la situation. *Les Représentations Sociales, Des Méthodes de Recherche Aux Problèmes de Société*, 93–108.
- Guimelli, C. (2002). Etude expérimentale du rôle de l'implication de soi dans les modalités de raisonnement intervenant dans le cadre des représentations sociales. *Revue Internationale de Psychologie Sociale, 15*(1), 129–161.
- Lewin, K. (1943). Forces behind food habits and methods of change. *Bulletin of the National Research Council, 108*(1043), 35–65.
- Lo Monaco, G., & Guimelli, C. (2008a). Représentations sociales, pratique de consommation et niveau de connaissance: le cas du vin. *Les Cahiers Internationaux de Psychologie Sociale, (78)*, 35–50.
- Lo Monaco, G. Lo, & Guimelli, C. (2008b). Représentations sociales, pratique de consommation et niveau de connaissance: le cas du vin. *Les Cahiers Internationaux de Psychologie Sociale, (78)*, 35–50.
- Mäkineniemi, J. P., Pirttilä-Backman, A. M., & Pieri, M. (2011). Ethical and unethical food. Social representations among Finnish, Danish and Italian students. *Appetite, 56*(2), 495–502. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2011.01.023>
- Mouret, M., Lo Monaco, G., Urdapilleta, I., & Parr, W. V. (2013). Social representations of wine and culture: A comparison between France and New Zealand. *Food Quality and Preference, 30*(2), 102–107. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2013.04.014>
- Parr, W. V., Mouret, M., Blackmore, S., Pelquest-Hunt, T., & Urdapilleta, I. (2011). Representation of complexity in wine: Influence of expertise. *Food Quality and Preference, 22*(7), 647–660. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2011.04.005>

- Rodrigues, H., Ballester, J., Saenz-Navajas, M. P., & Valentin, D. (2015). Structural approach of social representation: Application to the concept of wine minerality in experts and consumers. *Food Quality and Preference*, *46*, 166–172. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2015.07.019>
- Rodrigues, H., Cielo, D. P., Gómez-Corona, C., Silveira, A. A. S., Marchesan, T. A., Galmarini, M. V., & Richards, N. (2017). Eating flowers? Exploring attitudes and consumers' representation of edible flowers. *Food Research International*, *100*, 227–234.
- Rozin, P. (1988). Social learning about food by humans. In *Social learning: Psychological and biological perspectives* (pp. 165–187). Erlbaum Hillsdale, NJ.
- Saadi, L. (1998). Penser manger. *Alimentation et Représentations Sociales*. Paris: PUF.
- Simonnet-Toussaint, C., Lecigne, A., & Keller, P.-H. (2005). Les représentations sociales du vin chez de jeunes adultes : du consensus aux spécificités de groupes. *Bulletin de Psychologie*, Numéro 479(5), 535. <https://doi.org/10.3917/bupsy.479.0535>
- Soares, E. K. B., Esmerino, E. A., Ferreira, M. V. S., da Silva, M. A. A. P., Freitas, M. Q., & Cruz, A. G. (2017). What are the cultural effects on consumers' perceptions? A case study covering coalho cheese in the Brazilian northeast and southeast area using word association. *Food Research International*, *102*, 553–558.
- Son, J.-S., Do, V. B., Kim, K.-O., Cho, M. S., Suwonsichon, T., & Valentin, D. (2014). Understanding the effect of culture on food representations using word associations: the case of “rice” and “good rice.” *Food Quality and Preference*, *31*, 38–48.
- Vergès, P. (1992). L'évocation de l'argent: Une méthode pour la définition du noyau central d'une représentation. *Bulletin de Psychologie*.
- Vergès, P. (1994). Approche du noyau central: propriétés quantitatives et structurales. *Structures et Transformations Des Représentations Sociales*, *277*, 233–253.
- Vergès, P., Tyszka, T., & Vergès, P. (1994). Noyau central, saillance et propriétés structurales. *Papers on Social Representations*, *3*, 3–12.

3 Conclusion

Les résultats de ce chapitre révèlent un impact du degré de familiarité sur la manière de se représenter le Maroilles fermier. Dans les trois groupes qui proviennent de la région de production (professionnels, Thiérache, Lille) le type de lait « Lait cru » est un descripteur central partagé par les trois groupes alors que pour le groupe des Angevins le terme « lait » est central. On constate également que les groupes les plus familiers génèrent plus de mots qui se rapportent au fromage lui-même (AOC, cru, herbe) alors que les moins familiers citent des mots de culture générale (Chti, film, vente directe) et même parfois des termes « faux » (Alsace, Normandie, montagne, brebis). La valence des mots cités par les groupes les plus familiers est également plus positive que celle des Angevins. Ce dernier point est en accord avec ceux du chapitre précédent où nous avons montré que la familiarité augmente le score hédonique du Maroilles : globalement, les Lillois donnent des notes plus élevées aux différents Maroilles que les Angevins.

Concernant les implications pratiques de cette étude, les résultats pourraient contribuer à émettre des recommandations aux producteurs, pour les informer de la vision des consommateurs par rapport au Maroilles fermier. Ils pourraient permettre au service marketing des entreprises de fabrication de trouver des éléments clés de communication auprès des consommateurs qui pourraient être pertinents pour le développement du Maroilles en dehors de la région de production, voire même à l'international.

DISCUSSION GÉNÉRALE

L'objet de cette thèse était de comparer le Maroilles fermier fabriqué à partir de lait cru et le Maroilles industriel fabriqué avec du lait pasteurisé afin de mieux comprendre la relation entre le consommateur et les deux types de Maroilles disponibles sur le marché. Au cours de notre travail, nous nous sommes posés plusieurs questions concernant le Maroilles lui-même mais aussi ses consommateurs. Existe-t-il une différence entre le Maroilles fermier et industriel ? Cette différence est-elle perçue par les consommateurs ? Peut-on qualifier et quantifier cette différence ? Qu'en est-il de la perception et du choix du consommateur ? Quel est le rôle de la familiarité des consommateurs sur l'appréciation, les attentes et leur représentation vis-à-vis du Maroilles ? Ce manuscrit présente quelques éléments de réponse. Pour synthétiser la compréhension de notre travail et faire le lien entre les différents chapitres, nous proposons une figure qui établit un résumé de notre travail conduit au cours de ces années de thèse (Figure 20). La discussion de ce travail est organisée en trois parties qui sont présentées ci-dessous

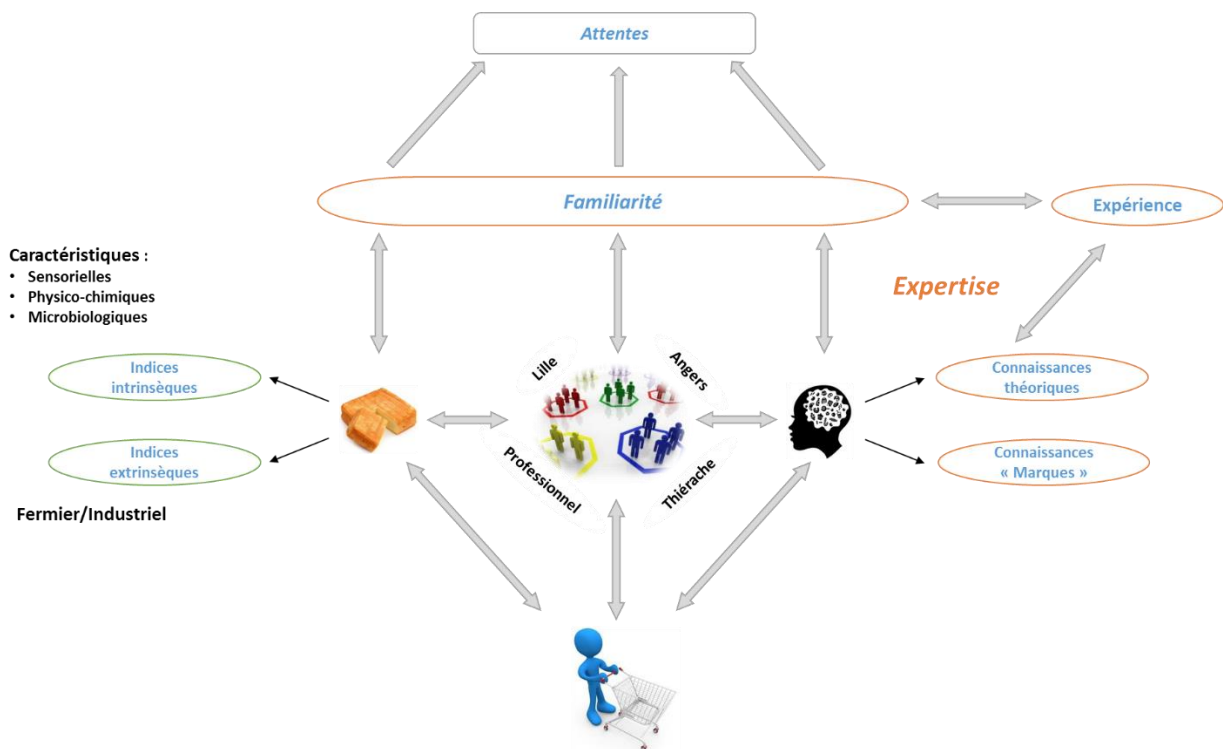


Figure 20. Une synthèse des travaux de thèse

1 Différence entre Maroilles Fermier et Industriel : mythe ou réalité ?

Le Maroilles est un fromage protégé par une appellation d'origine, ce qui nous laisse penser que les exigences drastiques imposées par le cahier des charges pour la production de ce type de produit le rendent unique et standardisé. Ces exigences qui peuvent aller du type de lait (cru et ou pasteurisé), de l'origine (zone délimitée), aux conditions du procédé de fabrication et d'affinage. Néanmoins les résultats que nous avons pu obtenir dans le chapitre 1 et 3 concernant l'étude des Maroilles fermier et industriel montrent que la majorité des paramètres (sensoriels, physicochimiques et microbiologiques) permettaient de mettre en évidence des différences entre Maroilles fermiers et industriels mais aussi des différences au sein d'un même type de Maroilles. À l'instar, d'autres travaux antérieurs comparant des fromages artisanaux et fermiers (Albenzio et al., 2001; Horne et al., 2005; Rea et al., 2016; Tunick and Van Hekken, 2010), notre étude met donc en évidence des différences significatives entre les Maroilles fermiers et industriels. Ces différences peuvent s'expliquer par différents facteurs.

En premier lieu, le **type de lait** utilisé pour fabriquer les fromages est probablement un des facteurs majeurs de différenciation : dans le cas des Maroilles fermiers, le lait provient uniquement de la ferme du producteur ; aucun mélange de lait n'est autorisé (décret du 30 décembre 1998). Un fromage fermier est donc produit avec un lait cru entier qui ne subit aucun traitement de standardisation (pasteurisation, taux de matière grasse par exemple). L'influence du traitement du lait sur la qualité des produits finis a été démontré dans plusieurs travaux (Ocak et al., 2015; Yoon et al., 2016) : le traitement du lait se traduit soit par la destruction de la flore indigène qui regroupe la microflore qui sert à la production de notre Maroilles et au développement de ses arômes et caractéristiques texturales, mais aussi la microflore qui agit comme un rempart naturel contre les pathogènes (par exemple, *Listeria monocytogenes*). Dans notre travail, l'étude microbiologique a été réalisée sur la microflore cultivable (chapitre 1 et 3), ce qui nous a permis d'avoir un aperçu comparatif entre les Maroilles fermiers et industriels et entre le cœur et la croûte. Une différence entre les Maroilles fermiers et industriels est observée avec l'énumération de la flore totale, les bactéries lactiques, les entérobactéries, les levures et les moisissures (Chapitre 1). Les taux de

la flore totale et de bactéries lactiques sont supérieurs au niveau du cœur des Maroilles fermiers par rapport à la croûte et inversement avec les Maroilles industriel. Seul le taux des entérobactéries est élevé sur la croûte des Maroilles fermiers par rapport au Maroilles industriels. Parallèlement, la comparaison des 15 Maroilles a révélé une différence statistiquement significative $p < 0,05$ relative à l'énumération des souches. Cette différence peut être expliquée par le type de lait, le processus de fabrication, les conditions de lavage de la croûte (avec ou sans ferments) et la durée d'affinage (Syndicat Maroilles, 2016). Dans le chapitre 3, nous avons poursuivi en comparant qualitativement les populations de bactéries lactiques identifiées par spectrométrie de masse MALDI-TOF. Une diversité des bactéries lactique est trouvée entre le Maroilles fermier et industriel. Cette diversité est plus importante dans le cœur du Maroilles fermier. Pour exemple, *Enterococcus devriesei*, espèce sensible au traitement thermique (Svec, 2005), est uniquement isolée du cœur du Maroilles fermier et inversement *Lactobacillus curvatus*, une espèce résistante à la pasteurisation (Martley et Crow, 1993), a été identifié au niveau de la croûte dans les deux types de Maroilles.

Le deuxième facteur pouvant expliquer les différences entre le Maroilles fermier et industriel concerne **le procédé de fabrication**. Ce facteur comprend plusieurs étapes du procédé mais aussi un facteur humain présent tout au long de la chaîne de production. Le procédé de fabrication comprend des opérations unitaires manuelles telles que le moulage, le retournement, le salage et le lavage ou brossage. La répétition des étapes est différente entre un Maroilles fermier et industriel : par exemple, au niveau industriel, le retournement des moules n'est effectué que trois fois alors qu'il peut aller jusqu'à cinq pour le Maroilles fermier.

Un dernier facteur de différenciation de grande importance surtout pour les fromages à pâte molle et croûte lavée tel que le Maroilles est **l'affinage**. En effet, le cahier des charges recommande une durée minimum d'affinage allant de 21 à 35 jours selon le format des Maroilles. Une différence nette est dès lors observable entre les deux types de Maroilles puisqu'un Maroilles fermier est affiné plus longtemps (affinage pouvant aller jusqu'à trois mois) qu'un Maroilles industriel qui lui se contente de la durée minimum recommandée. Cette durée d'affinage favorise, entre autres, l'augmentation du pH final du Maroilles (Brennan et al., 2002). Ce résultat a été corroboré par nos travaux. En effet, le Maroilles fermier de marque

Courbet d'une durée d'affinage de trois mois présente le pH le plus élevé. Toutes ces différences dans le procédé de fabrication du Maroilles jouent un rôle primordial sur la qualité du produit fini. Ces différences existent non seulement entre Maroilles fermier et industriel mais également d'un même type de Maroilles et au sein d'un même producteur. Le Maroilles est donc un fromage présentant de grandes variations inter-produites. Ceci crée naturellement une diversité de choix pour le consommateur, diversité qui est d'ailleurs perçue par le consommateur comme nous le montre le test de tri libre à l'aveugle. Notre étude montre donc que la mise en place d'un cahier des charges précis dû à l'AOP du Maroilles ne conduit pas à une standardisation du produit mais, au contraire, laisse une belle place à la variété tout en protégeant ce dernier.

2 Familiarité : d'où viens-tu et que fais-tu ?

Après l'étude du Maroilles en tant que tel, nous nous sommes intéressés dans les chapitres 4 et 5 à la relation entre le Maroilles et les consommateurs. L'étude a été consacrée à l'analyse de l'effet de la familiarité et des indications portées sur l'emballage sur les appréciations et les attentes des consommateurs. Cette familiarité se traduit par des fréquences de consommation du Maroilles et par un niveau de connaissances plus élevés à Lille qu'à Angers. Ce résultat confirme les différentes définitions de la familiarité relatives à la connaissance du produit (Johnson and Russo, 1984), à l'expérience vis-à-vis du produit (Methven et al., 2012), ou à l'achat et la consommation (Banovic et al., 2012; Borgogno, Favotto, et al., 2015; Frez-Muñoz et al., 2016). Dans notre étude, la familiarité liée aux connaissances des consommateurs peut être relative aux connaissances théoriques (sur le Maroilles proprement dit), mais aussi aux connaissances sur l'univers du Maroilles (citations des différentes marques de Maroilles).

Cette familiarité liée à la fréquence de consommation et aux connaissances du consommateur joue un rôle positif sur les notes d'appréciation du Maroilles. Ce phénomène a déjà été rapporté par d'autres auteurs sur d'autres types de produits (Cooke, 2007; Prescott et al., 2004; Seo et al., 2008). La familiarité joue également un rôle sur le type de Maroilles apprécié. En effet, nos résultats montrent que les consommateurs angevins apprécient plus le Maroilles fermier que le Maroilles industriel alors qu'aucune différence n'a été mise en évidence chez les consommateurs lillois. Il est possible que les consommateurs angevins, non

familiers avec le Maroilles, imaginent qu'un bon Maroilles doit présenter des caractéristiques marquées telles qu'une odeur et un goût très prononcés et par conséquent, attribuent des notes plus élevées au Maroilles fermiers qui présentent ces caractéristiques (Chambers et al., 2010). À l'inverse, les consommateurs lillois sont exposés plus fréquemment au Maroilles, mais aussi plus fréquemment au Maroilles industriels que fermiers, puisque la production industrielle représente 93 % de la production du Maroilles. Cette forte exposition pourrait ainsi expliquer la bonne appréciation des Maroilles industriels par les consommateurs lillois. La familiarité en terme de fréquence de consommation uniquement ne semble pas avoir d'effet sur les attentes des consommateurs puisqu'une aucune différence en terme de confirmations ou non confirmations des attentes entre les deux villes (Lille et Angers) n'a été observée. Cependant, l'étude des commentaires libres laissés par les consommateurs révèle que les consommateurs familiers (Lille) s'intéressent à des attributs de qualité intrinsèques du produit (odeur, goût, texture) alors que les consommateurs les moins familiers (Angers) s'intéressent à des attributs extrinsèques du produit (emballage, marque). Ces résultats sont soutenus par d'autres travaux réalisés dans un autre domaine de produit relatif à la consommation de la viande. Les consommateurs d'un niveau élevé de familiarité avec la viande utilisent la couleur pour évaluer le produit alors que les consommateurs avec un niveau faible de familiarité s'appuient sur la marque pour évaluer la qualité de la viande (Banovic et al., 2012). Par contre, la familiarité liée aux connaissances semble avoir plus d'influence sur les attentes des consommateurs puisque des différences de confirmations et de non confirmations ont été mises en évidence entre les classes d'individus de niveau de connaissance différents. Ces résultats nous laissent penser que l'apport d'informations auprès des consommateurs sur le Maroilles pourrait modifier leur appréciation et leurs attentes. Cette piste pourrait être intéressante à poursuivre pour aider les services marketing de la filière Maroilles à accroître leurs ventes dans un périmètre extérieur à la région des Hauts-de-France.

Pour finir, la familiarité influe également les représentations sociales du Maroilles fermier. En effet, nous montrons, au travers de l'étude réalisée auprès de groupes de personnes de différents niveaux de familiarité (chapitre 5), que les représentations sociales engendrées par le mot inducteur « Maroilles fermier » varient d'un groupe à l'autre en fonction de leur niveau de familiarité. Bien que les quatre groupes utilisent quelques termes

communs, il apparait néanmoins des différences dans la nature et l'organisation de ces termes. Les trois groupes de participants les plus familiers (professionnels, du Thiérache et lillois) citent des mots avec une valence positive par rapport aux consommateurs angevins. Ils citent également des mots spécifiques à la tradition et à la méthode de fabrication du Maroilles (maturation, qualité, marques Maroilles) par rapport aux Angevins qui eux citent des mots différents, uniques et généraux (chti, montagne, Alsace, vente directe). Nos résultats peuvent être mis en parallèle de ceux de Lo Monaco et al. (2008) et Simonnet-Toussaint et al. (2005) qui ont observé des différences de représentations sociales entre des experts et des novices. En effet, notre gradient de familiarité peut s'apparenter à un gradient d'expertise, les professionnels étant les plus experts et les angevins les plus novices.

3 Comment améliorer la qualité du Maroilles ?

Notre travail a montré qu'il était possible de prédire les appréciations hédoniques des consommateurs et certaines caractéristiques sensorielles des Maroilles à partir d'analyses physicochimiques et microbiologiques en utilisant la PLS comme outil statistique.

L'approche semble donc pertinente pour relier de manière simple et efficace des appréciations et des descripteurs sensoriels de consommateurs à des paramètres physicochimiques et microbiologiques. Il est apparu que les acides gras contenus dans le Maroilles contribuent de façon significative à la qualité du Maroilles. Cette approche pourrait se révéler très utile pour les producteurs de Maroilles : une simple détermination de la composition en acides gras du produit fini pourrait permettre d'estimer sa qualité. Nos travaux semblent donc prometteurs pour répondre aux besoins des consommateurs et leur proposer des Maroilles qui correspondent à leurs attentes.

CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Les travaux de cette thèse ont permis d'approfondir les connaissances sur un produit typique et incontournable de la région Hauts de France, le Maroilles. À notre connaissance c'est la première étude relative aux Maroilles fermiers et industriels déployant une approche pluridisciplinaire qui confronte des analyses microbiologiques, physicochimiques ainsi que des études sur le consommateur. Elle allie l'étude du Maroilles en tant que produit et le comportement des différents groupes de consommateurs selon leur degré de familiarité vis-à-vis du Maroilles.

Premièrement, l'étude de la différence entre Maroilles fermiers et industriels s'est appuyée sur la perception du consommateur (tests de tri libre et profil flash) confronté à des séries d'analyses instrumentales et microbiologiques simples, standardisées, réalisables au niveau de la plupart des laboratoires. Des différences nettes entre le Maroilles fermier et industriel, mais aussi au sein d'un même type de Maroilles et parfois même au sein d'un même producteur ont été mises en évidence. Ces résultats constituent un élément très intéressant au regard des AOP fromagères issues de cahier des charges strictes et va à l'encontre de l'idée que le consommateur a que les produits ont tendance à se standardiser et perdre de leur typicité à cause des normes imposées. Cette « biodiversité fromagère » contribue, en quelques sortes, à protéger et sauvegarder la typicité du Maroilles, pour élaborer des fromages de qualité qui représentent au mieux le terroir dont ils sont issus ; et ce même si la plus grande majorité de la production du Maroilles est industrielle.

Deuxièmement, comme le Maroilles est régional, la familiarité joue un rôle important dans sa consommation : à l'heure actuelle, 75% de la production est consommée dans un rayon de 200 Km de sa zone de production (Thiérache). Ce fait obligera les professionnels de la filière à travailler sur l'image du Maroilles et ses qualités organoleptiques pour une diffusion commerciale plus large. L'utilisation de méthodes de prédiction combinant les méthodes analytiques simples et les méthodes sensorielles permet d'optimiser les moyens et le coût des analyses. Ces méthodes pourraient donc être accessibles aux différents producteurs sachant que les producteurs fermiers ne représentent que 7% de la production totale. Ces travaux de prédiction devraient être poursuivis afin d'identifier un ou deux paramètres représentatifs de la qualité du Maroilles et facilement mesurables en routine.

Ce travail de thèse nous a permis d'ouvrir des portes et de poser des bases quant-àux connaissances sur le Maroilles en tant que fromage appartenant à la famille des pâtes molles à croûte lavée mais aussi en tant que produit local engendrant des comportements particuliers du consommateur. Néanmoins, il serait intéressant d'approfondir ces connaissances tout en conservant l'approche multidisciplinaire décrite dans ce travail.

En analyses sensorielles et étude du consommateur, il serait intéressant d'approfondir la compréhension des choix du consommateur par rapport au Maroilles fermier ou industriel : nous pourrions utiliser des méthodes de tri d'images d'emballages en modifiant partiellement les informations véhiculées par ces emballages (marque, indications, médailles, labels et dessin) et ainsi évaluer l'influence de chacune de ces informations sur le consommateur. Une autre méthode consisterait à utiliser des méthodes innovantes telles que l'*eye-tracking*, afin d'étudier les points et les temps de fixation du regard sur chacune des informations de l'emballage. Pour la familiarité, il serait intéressant de continuer cette étude, réalisée entre Lille et Angers, en ajoutant d'autres villes en France qui produisent un fromage de la même famille (Munster, Livarot, Époisses) afin de mieux comprendre la part de la familiarité qui est liée à l'exposition même du produit (Maroilles) ou du type de produit (pâte molle à croûte lavée avec des odeurs et goûts prononcés).

En ce qui concerne les analyses physicochimiques, l'étude de la microstructure du Maroilles, par spectrométrie de fluorescence ou infrarouge par exemple, pourrait également permettre de mieux comprendre la structure de chacun des types de Maroilles. L'identification par CLHP des pigments de la croûte des Maroilles pourrait également permettre de comprendre les mécanismes de formation de la couleur de la croûte des fromages à croûte lavée et leurs liens avec la microflore présente naturellement ou rajoutée par le lavage. L'étude microbiologique du Maroilles reste encore un vaste terrain à découvrir. Une analyse métagénomique comparative des bactéries et levures entre les Maroilles fermiers et industriels permettrait de mieux évaluer la flore totale (cultivable et non cultivable) de chacun des types de Maroilles. La grande diversité des bactéries présente dans le Maroilles laisse aussi penser que des activités antagonistes pourraient être mises en évidence et ainsi pourraient contribuer à la bio préservation des Maroilles.

Références bibliographiques

- Abbas, K. (2012), *Effet de Traitements Thermiques Sur Les Propriétés Fonctionnelles de Fromages Traditionnels : Le Cas Des Pâtes Persillées*. Thèse de Doctorat, Université Blaise Pascal France.
- Abdi, H., Valentin, D., Chollet, S. and Chrea, C. (2007), "Analyzing assessors and products in sorting tasks: DISTATIS, theory and applications", *Food Quality and Preference*, Vol. 18 No. 4, pp. 627–640.
- Abric, J.-C. (1987), *Coopération, Compétition et Représentations Sociales*, Cousset : DelVal, Cousset.
- Abric, J.C. (2001), "L'approche structurale des représentations sociales: développements récents", *Psychologie et Société*, Vol. 4 No. 2, pp. 81–104.
- Adamitsch, B.F., Karner, F. and Hampel, W.A. (2003), "High cell density cultivation of *Brevibacterium linens* and formation of proteinases and lipase.", *Biotechnology Letters*, Vol. 25 No. 9, pp. 705–708.
- Adamopoulos, K.G., Goula, A.M. and Petropakis, H.J. (2001), "Quality control during processing of Feta cheese—NIR application", *Journal of Food Composition and Analysis*, Vol. 14 No. 4, pp. 431–440.
- Addis, E., Fleet, G.H., Cox, J.M., Kolak, D. and Leung, T. (2001), "The growth, properties and interactions of yeasts and bacteria associated with the maturation of Camembert and Blue-veined cheeses", *International Journal of Food Microbiology*, Vol. 69 No. 1, pp. 25–36.
- Alba, J.W. and Hutchinson, J.W. (1987), "Dimensions of consumer expertise", *Journal of Consumer Research*, Vol. 13 No. 4, pp. 411–454.
- Alba, J.W. and Hutchinson, J.W. (2000), "KnowledgeCalibration: What Consumer Know and What They Think They Know", *Journal of Consumer Research*, Vol. 27 No. 2, pp. 123–156.

- Albenzio, M., Corbo, M.R., Rehman, S.U., Fox, P.F., De Angelis, M., Corsetti, A., Sevi, A., et al. (2001), "Microbiological and biochemical characteristics of Canestrato Pugliese cheese made from raw milk, pasteurized milk or by heating the curd in hot whey", *International Journal of Food Microbiology*, Vol. 67 No. 1–2, pp. 35–48.
- Alewijn, M. (2006), *The Formation of Fat-Derived Flavour Compounds during the Ripening of Gouda-Type Cheese. PhD Thesis*, Wageningen University, the Netherlands.
- Almuzara, M., Barberis, C., Traglia, G., Famiglietti, A., Ramirez, M.S. and Vay, C. (2015), "Evaluation of matrix-assisted laser desorption ionization-time-of-flight mass spectrometry for species identification of Nonfermenting Gram-Negative Bacilli", *Journal of Microbiological Methods*, Vol. 112, pp. 24–27.
- Alomirah, H.F., Alli, I. and Konishi, Y. (2000), "Applications of mass spectrometry to food proteins and peptides", *Journal of Chromatography A*, Vol. 893 No. 1, pp. 1–21.
- Alvarado, T.G., Cervantes, H., Velázquez, L., de Jesús, E., Rivera, R. and Pochutla, D. de S.P. (2010), "Caracterización sensorial del queso fresco 'cuajada' en tres localidades de Oaxaca, México: diferencias en la percepción sensorial", *Revista Venezolana de Ciencia Y Tecnología de Alimentos*, Vol. 1 No. 2, pp. 127–140.
- Amiot, J., Fournier, S., Lebeuf, Y., Paquin, P. and Simpson, R. (2002), "Composition, propriétés physicochimiques, valeur nutritive, qualité technologique et techniques d'analyse du lait", in Vignola, C.L. (Ed.), *Science et Technologie Du Lait; Transformation Du Lait.*, Presses Internationales Polytechniques Canada, Montréal Canada, pp. 1–73.
- Anderson, R.E. (1973), "Dissatisfaction : The Expectancy Perceived", *Journal of Marketing Research*, Vol. 10 No. 1, pp. 38–44.
- de Angelis Curtis, S., Curini, R., Delfini, M., Brosio, E., D'Ascenzo, F. and Bocca, B. (2000), "Amino acid profile in the ripening of Grana Padano cheese: a NMR study", *Food Chemistry*, Vol. 71 No. 4, pp. 495–502.
- Arfi, K., Amarita, F., Spinnler, H.-E. and Bonnarme, P. (2003), "Catabolism of volatile sulfur compounds precursors by *Brevibacterium linens* and *Geotrichum candidum*, two

- microorganisms of the cheese ecosystem.”, *Journal of Biotechnology*, Vol. 105 No. 3, pp. 245–253.
- Arfi, K., Leclercq-Perlat, M.N., Spinnler, H.E. and Bonnarme, P. (2005), “Importance of curd-neutralising yeasts on the aromatic potential of *Brevibacterium linens* during cheese ripening”, *International Dairy Journal*, Vol. 15 No. 6, pp. 883–891.
- Asensio, L., González, I., García, T. and Martín, R. (2008), “Determination of food authenticity by enzyme-linked immunosorbent assay (ELISA)”, *Food Control*, Vol. 19 No. 1, pp. 1–8.
- Balde, A. (2017), *Contribution À L'étude Des Propriétés Physico- Chimiques Du Lait Cryoconcentré et Évaluation de Son Potentiel D'application Technologique. Thèse de Doctorat*, Université Laval Canada.
- Banjara, N., Suhr, M.J. and Hallen-Adams, H.E. (2015), “Diversity of yeast and mold Species from a Variety of Cheese Types”, *Current Microbiology*, Vol. 70 No. 6, pp. 792–800.
- Banovic, M., Fontes, M.A., Barreira, M.M. and Grunert, K.G. (2012), “Impact of product familiarity on beef quality perception”, *Agribusiness*, Vol. 28 No. 2, pp. 157–172.
- Bara-Herczegh, O., Horváth-Almássy, K. and Örsi, F. (2002), “Application of multivariate methods to identify the indices of secondary proteolysis for Trappist cheese maturity and quality”, *European Food Research and Technology*, Vol. 214 No. 6, pp. 516–520.
- Baroiller, C., Schmidt, J.L. and Lapadu-Hargues, M. (1990), “Contribution à l'étude de l'origine des levures du fromage de Camembert”, *Le Lait*, Vol. 70 No. 1, pp. 67–84.
- Bartels, J. and Reinders, M.J. (2010), “Social identification, social representations, and consumer innovativeness in an organic food context: A cross-national comparison”, *Food Quality and Preference*, Vol. 21 No. 4, pp. 347–352.
- Bastian, S.E.P., Collins, C. and Johnson, T.E. (2010), “Understanding consumer preferences for Shiraz wine and Cheddar cheese pairings”, *Food Quality and Preference*, Vol. 21 No. 7, pp. 668–678.

- Bennett, R.J. and Johnston, K.A. (2004), "General aspects of cheese technology", in Fox, P.F., McSweeney, P.L.H., Cogan, T.M. and Guinee, T.P. (Eds.), *Cheese: Chemistry, Physics and Microbiology Volume 2: Major Cheese Groups*, Academic Press USA, pp. 23–50.
- Bent, S.J. and Forney, L.J. (2008), "The tragedy of the uncommon: understanding limitations in the analysis of microbial diversity", *The ISME Journal*, Nature Publishing Group, Vol. 2 No. 7, pp. 689–695.
- Beresford, T.P., Fitzsimons, N. a, Brennan, N.L. and Cogan, T.M. (2001), "Recent Advance in Cheese Microbiology", *International Dairy Journal*, Vol. 11, pp. 259–274.
- Beresford, T.P. and Williams, A. (2004), "The Microbiology of Cheese Ripening", in Fox, P.F., McSweeney, P.L.H., Cogan, T.M. and Guinee, T.P. (Eds.), *Cheese: Chemistry, Physics and Microbiology Volume 1: General Apects*, Academic Press USA, pp. 287–317.
- Bergamaschi, M., Aprea, E., Betta, E., Biasioli, F., Cipolat-Gotet, C., Cecchinato, A., Bittante, G., et al. (2015), "Effects of dairy system, herd within dairy system, and individual cow characteristics on the volatile organic compound profile of ripened model cheeses", *Journal of Dairy Science*, Vol. 98 No. 4, pp. 2183–2196.
- Bertuzzi, A.S., McSweeney, P.L.H., Rea, M.C. and Kilcawley, K.N. (2018), "Detection of Volatile Compounds of Cheese and Their Contribution to the Flavor Profile of Surface-Ripened Cheese", *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, Vol. 17 No. 2, pp. 371–390.
- Beuvier, E. and Buchin, S. (2004), "Raw milk cheeses", in Fox, P.F., McSweeney, P.L.H., Cogan, T.M. and Guinee, T.P. (Eds.), *Cheese: Chemistry, Physics and Microbiology , Volume 1: General Aspects*, Elsevier Academic Press, London, UK, pp. 319–345.
- Bittar, F., Ouchenane, Z., Smati, F., Raoult, D. and Rolain, J.-M. (2009), "MALDI-TOF-MS for rapid detection of *staphylococcal Panton–Valentine leukocidin*", *International Journal of Antimicrobial Agents*, Vol. 34 No. 5, pp. 467–470.
- Bizzini, A., Durussel, C., Bille, J., Greub, G. and Prod'hom, G. (2010), "Performance of matrix-assisted laser desorption ionization-time of flight mass spectrometry for identification of

- bacterial strains routinely isolated in a clinical microbiology laboratory”, *Journal of Clinical Microbiology*, Am Soc Microbiol, Vol. 48 No. 5, pp. 1549–1554.
- Bizzini, A. and Greub, G. (2010), “Matrix-assisted laser desorption ionization time-of-flight mass spectrometry, a revolution in clinical microbial identification”, *Clinical Microbiology and Infection*, Vol. 16 No. 11, pp. 1614–1619.
- Blazquez, C., Downey, G., O’Donnell, C., O’Callaghan, D. and Howard, V. (2004), “Prediction of moisture, fat and inorganic salts in processed cheese by near infrared reflectance spectroscopy and multivariate data analysis”, *Journal of near Infrared Spectroscopy*, Vol. 12 No. 3, pp. 149–157.
- Bockelmann, W. and Hoppe-Seyler, T. (2001), “The surface flora of bacterial smear-ripened cheeses from cow’s and goat’s milk”, *International Dairy Journal*, Vol. 11 No. 4–7, pp. 307–314.
- Bockelmann, W., Krusch, U., Engel, G., Klijn, N., Smit, G. and Heller, K. (1997), “The microflora of Tilsit cheese. Part 1. Variability of the smear flora”, *Nahrung-Food*, Vol. 41 No. 4, pp. 208–212.
- Bockelmann, W., Willems, K.P., Neve, H. and Heller, K.H. (2005), “Cultures for the ripening of smear cheeses”, *International Dairy Journal*, Vol. 15 No. 6–9, pp. 719–732.
- Bonizzi, I., Feligini, M., Aleandri, R. and Enne, G. (2007), “Genetic traceability of the geographical origin of typical Italian water buffalo Mozzarella cheese: A preliminary approach”, *Journal of Applied Microbiology*, Vol. 102 No. 3, pp. 667–673.
- Bord, C. (2015), *Impact Du Traitement Thermique Sur Les Perceptions Sensorielles et Les Préférences Des Consommateurs Pour Les Fromages À Pate Persillée : Cas de La Fourme d’Ambert. Thèse de Doctorat*, Université Blaise Pascal, France.
- Borgogno, M., Corazzin, M., Saccà, E., Bovolenta, S. and Piasentier, E. (2015), “Influence of familiarity with goat meat on liking and preference for capretto and chevon”, *Meat Science*, Elsevier Ltd, Vol. 106, pp. 69–77.

- Borgogno, M., Favotto, S., Corazzin, M., Cardello, A. V. and Piasentier, E. (2015), "The role of product familiarity and consumer involvement on liking and perceptions of fresh meat", *Food Quality and Preference*, Vol. 44, pp. 139–147.
- Boutrou, R. and Gueguen, M. (2005), "Interests in *Geotrichum candidum* for cheese technology.", *International Journal of Food Microbiology*, Vol. 102 No. 1, pp. 1–20.
- Bredahl, L. (2004), "Cue utilisation and quality perception with regard to branded beef", *Food Quality and Preference*, Vol. 15 No. 1, pp. 65–75.
- Brennan, N.M., Brown, R., Goodfellow, M., Ward, A.C., Beresford, T.P., Simpson, P.J., Fox, P.F., et al. (2001), "*Corynebacterium mooreparkense* sp. nov. and *Corynebacterium casei* sp. nov., isolated from the surface of a smear-ripened cheese.", *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, Vol. 51 No. Pt 3, pp. 843–852.
- Brennan, N.M., Brown, R., Goodfellow, M., Ward, A.C., Beresford, T.P., Vancanneyt, M., Cogan, T.M., et al. (2001), "*Microbacterium gubbeenense* sp. nov., from the surface of a smear-ripened cheese", *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, Vol. 51 No. 6, pp. 1969–1976.
- Brennan, N.M., Ward, A.C., Beresford, T.P., Fox, P.F., Goodfellow, M. and Cogan, T.M. (2002), "Biodiversity of the bacterial flora on the surface of a smear cheese", *Applied and Environmental Microbiology*, Vol. 68 No. 2, pp. 820–830.
- Brescia, M.A., Monfreda, M., Buccolieri, A. and Carrino, C. (2005), "Characterisation of the geographical origin of buffalo milk and Mozzarella cheese by means of analytical and spectroscopic determinations", *Food Chemistry*, Vol. 89 No. 1, pp. 139–147.
- Breuer, U. and Harms, H. (2006), "Debaryomyces hansenii--an extremophilic yeast with biotechnological potential.", *Yeast (Chichester, England)*, England, Vol. 23 No. 6, pp. 415–437.
- Broadbent, J.R., Strickland, M., Weimer, B.C., Johnson, M.E. and Steele, J.L. (1998), "Peptide Accumulation and Bitterness in Cheddar Cheese Made Using Single-Strain *Lactococcus lactis* Starters with Distinct Proteinase Specificities¹", *Journal of Dairy Science*, Elsevier,

Vol. 81 No. 2, pp. 327–337.

Brûlé, G., Lenoir, J. and Remeuf, F. (1997), “La micelle de caséine et la coagulation du lait”, in Eck, A and Gillis C, J. (Eds.), *Le Fromage*, Lavoisier Tec & Doc France, pp. 7–41.

Bugaud, C., Buchin, S., Coulon, J.-B., Hauwuy, A. and Dupont, D. (2001), “Influence of the nature of alpine pastures on plasmin activity, fatty acid and volatile compound composition of milk”, *Lait*, Vol. 81 No. 3, pp. 401–414.

Bunesova, V., Killer, J., Vlkova, E., Musilova, S., Tomaska, M., Rada, V. and Kmet, V. (2014), “Isolation and characterization of bifidobacteria from ovine cheese”, *International Journal of Food Microbiology*, Elsevier B.V., Vol. 188, pp. 26–30.

Bunesova, V., Vlkova, E., Rada, V., Killer, J. and Musilova, S. (2014), “Bifidobacteria from the gastrointestinal tract of animals: differences and similarities”, *Beneficial Microbes*, Wageningen Academic Publishers, Vol. 5 No. 4, pp. 377–388.

De Buzon, S. (2007), *A La Decouverte D ' Un Fromage Fermier : L ' Ecir En Aubrac. Thèse de Docteur Veterinaire.*, Université Paul-Sabatier de Toulouse.

Camin, F., Wietzerbin, K., Cortes, A.B., Haberhauer, G., Lees, M. and Versini, G. (2004), “Application of Multielement Stable Isotope Ratio Analysis to the Characterization of French, Italian, and Spanish Cheeses”, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, American Chemical Society, Vol. 52 No. 21, pp. 6592–6601.

Campolo, O., Romeo, F. V., Attinà, A., Zappalà, L. and Palmeri, V. (2013), “Hygienic and physicochemical quality characterisation of artisanal and industrial Pecorino Calabrese cheese”, *International Journal of Dairy Technology*, Vol. 66 No. 4, pp. 595–603.

Caporale, G. and Monteleone, E. (2004), “Influence of information about manufacturing process on beer acceptability”, *Food Quality and Preference*, Vol. 15 No. 3, pp. 271–278.

Caporale, G., Sonia, P., Angela, C. and Erminio, M. (2006), “Consumer expectations for sensory properties in virgin olive oils”, *Food Quality and Preference*, Vol. 17 No. 1–2, pp. 116–125.

- Carbonaro, M. and Nucara, A. (2010), "Secondary structure of food proteins by Fourier transform spectroscopy in the mid-infrared region", *Amino Acids*, Springer, Vol. 38 No. 3, pp. 679–690.
- Carbonnelle, E., Grohs, P., Jacquier, H., Day, N., Tenza, S., Dewailly, A., Vissouarn, O., et al. (2012), "Robustness of two MALDI-TOF mass spectrometry systems for bacterial identification", *Journal of Microbiological Methods*, Elsevier, Vol. 89 No. 2, pp. 133–136.
- Carbonnelle, E., Mesquita, C., Bille, E., Day, N., Dauphin, B., Beretti, J.-L., Ferroni, A., et al. (2011), "MALDI-TOF mass spectrometry tools for bacterial identification in clinical microbiology laboratory", *Clinical Biochemistry*, Elsevier, Vol. 44 No. 1, pp. 104–109.
- Cardello, A. V. and Sawyer, F.M. (1992), "Effects of Disconfirmed Consumer Expectations on Food Acceptability", *Journal of Sensory Studies*, Vol. 7 No. 4, pp. 253–277.
- Cardello, A.V. (2007), "Measuring consumer expectations to improve food product development", *Consumer-Led Food Product Development*, No. 2, pp. 223–261.
- Carminati, D., Giraffa, G., Quiberoni, A., Binetti, A., Suárez, V. and Reinheimer, J. (2010), "Advances and Trends in Starter Cultures for Dairy Fermentations", in Mozzi, F., Raya, R. and Vignolo, G. (Eds.), *Biotechnology of Lactic Acid Bacteria*, Wiley-Blackwell Publishing USA, Iowa, USA, pp. 177–192.
- Caro, I., Mateo, J., Sandoval, M.H., Soto, S., García-Armesto, M.R. and Castro, J.M. (2013), "Characterization of Oaxaca raw milk cheese microbiota with particular interest in *Lactobacillus* strains", *Journal of Dairy Science*, Elsevier, Vol. 96 No. 6, pp. 3461–3470.
- Cattaneo, T.M.P., Giardina, C., Sinelli, N., Riva, M. and Giangiacomo, R. (2005), "Application of FT-NIR and FT-IR spectroscopy to study the shelf-life of Crescenza cheese", *International Dairy Journal*, Elsevier, Vol. 15 No. 6–9, pp. 693–700.
- Cevoli, C., Cerretani, L., Gori, A., Caboni, M.F., Toschi, T.G. and Fabbri, A. (2011), "Classification of Pecorino cheeses using electronic nose combined with artificial neural network and comparison with GC-MS analysis of volatile compounds", *Food Chemistry*, Elsevier, Vol. 129 No. 3, pp. 1315–1319.

- Chamba, J.F. and Irlinger, F. (2004), "Secondary and Adjunct Cultures", in Fox, P.F., McSweeney P.L.H., Cogan T.M. and T.P., G. (Eds.), *Cheese: Chemistry, Physics and Microbiology Volume 1: General Aspects*, Elsevier Academic Press USA, pp. 191–206.
- Chambers, D.H., Esteve, E. and Retiveau, A. (2010), "Effect of milk pasteurization on flavor properties of seven commercially available French cheese types", *Journal of Sensory Studies*, Vol. 25 No. 4, pp. 494–511.
- Chaves-López, C., De Angelis, M., Martuscelli, M., Serio, A., Paparella, A. and Suzzi, G. (2006), "Characterization of the Enterobacteriaceae isolated from an artisanal Italian ewe's cheese (Pecorino Abruzzese)", *Journal of Applied Microbiology*, Vol. 101 No. 2, pp. 353–360.
- Chocarro, R., Cortiñas, M. and Elorz, M. (2009), "The impact of product category knowledge on consumer use of extrinsic cues - A study involving agrifood products", *Food Quality and Preference*, Elsevier Ltd, Vol. 20 No. 3, pp. 176–186.
- Choisy, C., Desmazeaud, M., Gripon, J.-C., Lamberet, G. and Lenoir, J. (1997), "La biochimie de l'affinage", in Eck, A. and Gillis, J.C. (Eds.), *Le Fromage*, Tec et Doc Lavoisier France, pp. 86–153.
- Choisy, C., Desmazeaud, M., Guéguen, M., Lenoir, J., Schmidt, J.L. and Tourneur, C. (1997), "Les phénomènes microbiens. In Le fromage", in Eck, A. and Gillis, J.C. (Eds.), *Le Fromage*, Tech et Doc Lavoisier France, pp. 377–446.
- Cholet, O. (2006), *Etude de L'écosystème Fromager Par Une Approche Biochimique et Moléculaire. Thèse de Doctorat*, Institut National Agronomique PARIS-GRIGNON.
- Chollet, S., Lelièvre, M., Abdi, H. and Valentin, D. (2011), "Sort and beer: Everything you wanted to know about the sorting task but did not dare to ask", *Food Quality and Preference*, Elsevier Ltd, Vol. 22 No. 6, pp. 507–520.
- Chollet, S., Valentin, D. and Abdi, H. (2014), "Free Sorting Task", *Novel Techniques in Sensory Characterization and Consumer Profiling*, pp. 207–227.

- Cipolat-Gotet, C., Cecchinato, A., De Marchi, M., Penasa, M. and Bittante, G. (2012), "Comparison between mechanical and near-infrared methods for assessing coagulation properties of bovine milk", *Journal of Dairy Science*, Elsevier, Vol. 95 No. 11, pp. 6806–6819.
- CNAOL. (2017), *Chiffres Clés 2016 Des Produits Sous Signes de La Qualité et de L'origine. Produits Laitiers AOP*.
- Cogan M., T. (1980), "Les levains lactiques mésophiles. Une revue", *Lait*, Vol. 60 No. 597, pp. 397–425.
- Coiffier, O. (1992), "Les bactéries coliformes", in J. Hermier, J.L. enoir & F.W. (Ed.), *Les Groupes Microbiens D'intérêt Laitier*, CEPIL France, pp. 330–332.
- Coker, C.J., Crawford, R.A., Johnston, K.A., Singh, H. and Creamer, L.K. (2005), "Towards the classification of cheese variety and maturity on the basis of statistical analysis of proteolysis data - A review", *International Dairy Journal*, Vol. 15 No. 6–9, pp. 631–643.
- Colin, O. (1990), *Taux Protéique et Qualité Fromagères Des Laites : Maitrise Des Facteurs de Production. Thèse de Doctorat.*, Institut National Polytechnique de Lorraine.
- Collins, Y.F., McSweeney, P.L.H. and Wilkinson, M.G. (2003), "Lipolysis and free fatty acid catabolism in cheese: a review of current knowledge", *International Dairy Journal*, Elsevier, Vol. 13 No. 11, pp. 841–866.
- Consonni, R. and Cagliani, L.R. (2008), "Ripening and geographical characterization of Parmigiano Reggiano cheese by ¹H NMR spectroscopy", *Talanta*, Vol. 76 No. 1, pp. 200–205.
- Cooke, L. (2007), "The importance of exposure for healthy eating in childhood: A review", *The Journal of Human Nutrition and Dietetics*, Vol. 20 No. 4, pp. 294–301.
- Coppola, S., Blaiotta, G., Ercolini, D. and Moschetti, G. (2001), "Molecular evaluation of microbial diversity occurring in different types of Mozzarella cheese", *Journal of Applied Microbiology*, Wiley Online Library, Vol. 90 No. 3, pp. 414–420.

- Corroler, D., Mangin, I., Desmasures, N. and Gueguen, M. (1998), "An ecological study of Lactococci isolated from raw milk in the Camembert cheese registered designation of origin area", *Applied and Environmental Microbiology*, American Society for Microbiology, Vol. 64 No. 12, pp. 4729–4735.
- Corsetti, A., Rossi, J. and Gobbetti, M. (2001), "Interactions between yeasts and bacteria in the smear surface-ripened cheeses", *International Journal of Food Microbiology*, Vol. 69 No. 1–2, pp. 1–10.
- da Costa Filho, P.A. and Volery, P. (2005), "Broad-based versus specific NIRS calibration: Determination of total solids in fresh cheese", *Analytica Chimica Acta*, Elsevier, Vol. 544 No. 1–2, pp. 82–88.
- Coulon, J.-B., Delacroix, M.-A., Buchet, B. and Pirisi, A. (2004), "Relationships between ruminant management and sensory characteristics of cheeses: a review", *Lait*, Vol. 84 No. 3, pp. 221–241.
- Coulon, J.B., Delacroix-Buchet, A., Martin, B. and Pirisi, A. (2005), "Facteurs de production et qualité sensorielle des fromages", *Productions Animales*, Vol. 18 No. 1, pp. 49–62.
- Courroye, M. (1987), "L'indice d'affinage : un nouveau moyen de suivre la protéolyse des fromages à pâte pressée cuite par cryoscopie.", *Ind Alim Agrie*, Vol. 104, pp. 169–173.
- Cozzi, G., Ferlito, J., Pasini, G., Contiero, B. and Gottardo, F. (2009), "Application of near-infrared spectroscopy as an alternative to chemical and color analysis to discriminate the production chains of Asiago d'Allevato cheese", *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, ACS Publications, Vol. 57 No. 24, pp. 11449–11454.
- Cserhati, T., Forgacs, E., Deyl, Z. and Miksik, I. (2005), "Chromatography in authenticity and traceability tests of vegetable oils and dairy products: A review.", *Biomedical Chromatography : BMC*, England, Vol. 19 No. 3, pp. 183–190.
- Čurda, L. and Kukačková, O. (2004), "NIR spectroscopy: a useful tool for rapid monitoring of processed cheeses manufacture", *Journal of Food Engineering*, Elsevier, Vol. 61 No. 4, pp. 557–560.

- Curioni, P.M.G. and Bosset, J.O. (2002), "Key odorants in various cheese types as determined by gas chromatography-olfactometry", *International Dairy Journal*, Elsevier, Vol. 12 No. 12, pp. 959–984.
- Curtin, Á.C., Gobbetti, M. and McSweeney, P.L.H. (2002), "Peptidolytic, esterolytic and amino acid catabolic activities of selected bacterial strains from the surface of smear cheese", *International Journal of Food Microbiology*, Vol. 76 No. 3, pp. 231–240.
- Danezis, G.P., Tzagkaris, A.S., Camin, F., Brusica, V. and Georgiou, C.A. (2016), "Food authentication: Techniques, trends & emerging approaches", *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, Vol. 85, pp. 123–132.
- Davies, D.T. and Law, A.J.R. (1980), "The content and composition of protein in creamery milks in south-west Scotland", *Journal of Dairy Research*, Vol. 47 No. 1, pp. 83–90.
- Décret du 30 décembre 1998. (1998), *Décret Du 30 Juillet 1998 Relatif À L'appellation D'origine Contrôlée "Bleu Du Vercors-Sassenage"*.
- Deetae, P., Bonnarme, P., Spinnler, H.E. and Helinck, S. (2007), "Production of volatile aroma compounds by bacterial strains isolated from different surface-ripened French cheeses", *Applied Microbiology and Biotechnology*, Vol. 76 No. 5, pp. 1161–1171.
- Deetae, P., Spinnler, H.E., Bonnarme, P. and Helinck, S. (2009), "Growth and aroma contribution of *Microbacterium foliorum*, *Proteus vulgaris* and *Psychrobacter* sp. during ripening in a cheese model medium", *Applied Microbiology and Biotechnology*, Vol. 82 No. 1, pp. 169–177.
- Deeth, H.C. and Fitz-Gerald, C.H. (1983), "Lipolytic enzymes and hydrolytic rancidity in milk and milk products", in Fox, P.F. (Ed.), *Developments in Dairy Chemistry.2. Lipids*, Applied Science Publishers Ltd., London, UK, pp. 195–239.
- Delarue, J. (2015), "The use of rapid sensory methods in R&D and research: an introduction", *Rapid Sensory Profiling Techniques*, Elsevier, pp. 3–25.
- Delarue, J., Lawlor, B. and Rogeaux, M. (2014), *Rapid Sensory Profiling Techniques*:

Applications in New Product Development and Consumer Research, Elsevier.

- Delarue, J. and 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 Quality and Preference*, Vol. 15 No. 4, pp. 383–392.
- Delcenserie, V., Taminiou, B., Delhalle, L., Nezer, C., Doyen, P., Crevecoeur, S., Roussey, D., et al. (2014), "Microbiota characterization of a Belgian protected designation of origin cheese, Herve cheese, using metagenomic analysis", *Journal of Dairy Science*, Elsevier, Vol. 97 No. 10, pp. 6046–6056.
- Deliza, R. and MacFIE, H.J.H. (1996), "The generation of sensory expectation by external cues and its effect on sensory perception and hedonic ratings : A review", *Journal of Sensory Studies*, Vol. 11 No. 2, pp. 103–128.
- Dellaglio, F., De Roissart, H., Torriani, S., Curk, M.C. and Janssens, D. (1994), "Caractéristiques générales des bactéries lactiques", in H. de Roissart and F. M. Luquet, L. (Ed.), *Bactéries Lactiques*, Vol. 1, Lorica, Uriage, France, pp. 25–116.
- Desmazeaud, M. (1997), "Aptitude du lait au développement de la flore lactique", in Eck, A and Gillis, J.C. (Ed.), *Le Fromage*, Tec & Doc Lavoisier France, pp. 212–228.
- Dhiman, N., Hall, L., Wohlfiel, S.L., Buckwalter, S.P. and Wengenack, N.L. (2011), "Performance and cost analysis of matrix-assisted laser desorption ionization–time of flight mass spectrometry for routine identification of yeast", *Journal of Clinical Microbiology*, Am Soc Microbiol, Vol. 49 No. 4, pp. 1614–1616.
- Dick, A., Chakravarti, D. and Biehal, G. (1990), "Memory-based inferences during consumer choice", *Journal of Consumer Research*, The University of Chicago Press, Vol. 17 No. 1, pp. 82–93.
- Diezhandino, I., Fernández, D., González, L., McSweeney, P.L.H. and Fresno, J.M. (2015), "Microbiological, physico-chemical and proteolytic changes in a Spanish blue cheese during ripening (Valdeón cheese)", *Food Chemistry*, Elsevier Ltd, Vol. 168 No. 1, pp. 134–141.

- Diezhandino, I., Fernández, D., Sacristán, N., Combarros-Fuertes, P., Prieto, B. and Fresno, J.M. (2016), "Rheological, textural, colour and sensory characteristics of a Spanish blue cheese (Valdeón cheese)", *LWT - Food Science and Technology*, Vol. 65, pp. 1118–1125.
- Dillon, J.C. and Berthier, A.M. (1997), "Le fromage dans l'alimentation", in Eck, A. and Gillis, J.C. (Eds.), *Le Fromage*, Tec & Doc Lavoisier France, Paris, pp. 713–724.
- Dortu, C. and Thonart, P. (2009), "Les bactériocines des bactéries lactiques: Caractéristiques et intérêts pour la bioconservation des produits alimentaires", *Biotechnology, Agronomy and Society and Environment*, Vol. 13 No. 1, pp. 143–154.
- Driessen, F.M. (1989), "Inactivation of lipases and proteinases (indigenous and bacterial)", *Bulletin of the International Dairy Federation*, Vol. 238, pp. 71–93.
- Dubois, D., Leyssene, D., Chacornac, J.P., Kostrzewa, M., Schmit, P.O., Talon, R., Bonnet, R., et al. (2010), "Identification of a variety of *Staphylococcus* species by matrix-assisted laser desorption ionization-time of flight mass spectrometry", *Journal of Clinical Microbiology*, Vol. 48 No. 3, pp. 941–945.
- Dufossé, L., Galaup, P., Carlet, E., Flamin, C. and Valla, A. (2005), "Spectrocolorimetry in the CIE L*a*b* color space as useful tool for monitoring the ripening process and the quality of PDO red-smear soft cheeses", *Food Research International*, Vol. 38 No. 8–9, pp. 919–924.
- Dugat-Bony, E., Garnier, L., Denonfoux, J., Ferreira, S., Sarthou, A.S., Bonnarne, P. and Irlinger, F. (2016), "Highlighting the microbial diversity of 12 French cheese varieties", *International Journal of Food Microbiology*, Elsevier B.V., Vol. 238, pp. 265–273.
- Dušková, M., Šedo, O., Kšicová, K., Zdráhal, Z. and Karpíšková, R. (2012), "Identification of lactobacilli isolated from food by genotypic methods and MALDI-TOF MS", *International Journal of Food Microbiology*, Elsevier, Vol. 159 No. 2, pp. 107–114.
- Eck, A. (1990), *Le Fromage*, Tec & Doc Lavoisier France.
- El-Baradei, G., Delacroix-Buchet, A. and Ogier, J.C. (2007), "Biodiversity of bacterial

- ecosystems in traditional Egyptian Domiati cheese”, *Applied and Environmental Microbiology*, Vol. 73 No. 4, pp. 1248–1255.
- El-Gazzar, F.E. and Marth, E.H. (1992), “*Salmonellae*, salmonellosis, and dairy foods: A review.”, *Journal of Dairy Science*, Vol. 75 No. 9, pp. 2327–2343.
- Eliskases-Lechner, F. and Ginzinger, W. (1995a), “The bacterial flora of surface-ripened cheeses with special regard to coryneforms”, *Le Lait*, Vol. 75 No. 6, pp. 571–583.
- Eliskases-Lechner, F. and Ginzinger, W. (1995b), “The yeast flora of surface-ripened cheeses”, *Milchwissenschaft (Germany)*, Vol. 50 No. 8, pp. 458–462.
- Emami, K., Hack, E., Nelson, A., Brain, C.M., Lyne, F.M., Mesbahi, E., Day, J.G., et al. (2015), “Proteomic-based biotyping reveals hidden diversity within a microalgae culture collection: An example using *Dunaliella*”, *Scientific Reports*, Nature Publishing Group, Vol. 5, pp. 1–15.
- Emami, K., Nelson, A., Hack, E., Zhang, J., Green, D.H., Caldwell, G.S. and Mesbahi, E. (2016), “MALDI-TOF mass spectrometry discriminates known species and marine environmental isolates of *Pseudoalteromonas*”, *Frontiers in Microbiology*, Vol. 7, pp. 1–13.
- Ercolini, D., Hill, P.J. and Dodd, C.E.R. (2003), “Bacterial community structure and location in Stilton cheese”, *Applied and Environmental Microbiology*, Am Soc Microbiol, Vol. 69 No. 6, pp. 3540–3548.
- Ercolini, D., Mauriello, G., Blaiotta, G., Moschetti, G. and Coppola, S. (2004), “PCR–DGGE fingerprints of microbial succession during a manufacture of traditional water buffalo mozzarella cheese”, *Journal of Applied Microbiology*, Wiley Online Library, Vol. 96 No. 2, pp. 263–270.
- Ercolini, D., Moschetti, G., Blaiotta, G. and Coppola, S. (2001), “The potential of a polyphasic PCR–DGGE Approach in evaluating microbial diversity of natural whey cultures for water-buffalo Mozzarella cheese production: bias of culture-dependent and culture-independent analyses”, *Systematic and Applied Microbiology*, Elsevier, Vol. 24 No. 4, pp. 610–617.

- Fagan, C.C., O'donnell, C.P., O'callaghan, D.J., Downey, G., Sheehan, E.M., Delahunty, C.M., Everard, C., et al. (2007), "Application of Mid-Infrared Spectroscopy to the prediction of maturity and sensory texture attributes of Cheddar cheese", *Journal of Food Science*, Vol. 72 No. 3, pp. 130–137.
- Falchero, L., Lombardi, G., Gorlier, A., Lonati, M., Odoardi, M. and Cavallero, A. (2010), "Variation in fatty acid composition of milk and cheese from cows grazed on two alpine pastures", *Dairy Science & Technology*, Vol. 90 No. 6, pp. 657–672.
- Farkye, N.Y. (1999), "Cheese: microbiology of cheese-making and maturation.", in Robinson, R.K., Batt, C.A. and Patel, P.. (Eds.), *Encyclopedia of Food Microbiology. Volume 1*, Elsevier Science, Oxford, pp. 381–387.
- Faye, P., Brémaud, D., Teillet, E., Courcoux, P., Giboreau, A. and Nicod, H. (2006), "An alternative to external preference mapping based on consumer perceptible mapping", *Food Quality and Preference*, Elsevier, Vol. 17 No. 7–8, pp. 604–614.
- Festinger, L. (1957), "A Theory of Cognitive Dissonance.", *Stanford University Presss, Stanford*.
- Feurer, C., Irlinger, F., Spinnler, H.E., Glaser, P. and Vallaey, T. (2004), "Assessment of the rind microbial diversity in a farmhouse-produced vs a pasteurized industrially produced soft red-smear cheese using both cultivation and rDNA-based methods", *Journal of Applied Microbiology*, Vol. 97 No. 3, pp. 546–556.
- Fischer, A.R.H. and Frewer, L.J. (2009), "Consumer familiarity with foods and the perception of risks and benefits", *Food Quality and Preference*, Elsevier Ltd, Vol. 20 No. 8, pp. 576–585.
- Fischer, G.-N. (2010), *Les Concepts Fondamentaux de La Psychologie Sociale*, 4ème édit., Dunod.
- Fleet, G.H. (1990), "Yeasts in dairy products", *Journal of Applied Bacteriology*, Wiley/Blackwell (10.1111), Vol. 68 No. 3, pp. 199–211.
- Fleet, G.H. (1999), "Microorganisms in food ecosystems", *International Journal of Food*

- Microbiology*, Vol. 50 No. 1–2, pp. 101–117.
- Flórez, A.B. and Mayo, B. (2006), “Microbial diversity and succession during the manufacture and ripening of traditional, Spanish, blue-veined Cabrales cheese, as determined by PCR-DGGE”, *International Journal of Food Microbiology*, Vol. 110 No. 2, pp. 165–171.
- Font-i-Furnols, M. and Guerrero, L. (2014), “Consumer preference, behavior and perception about meat and meat products: An overview”, *Meat Science*, Elsevier Ltd, Vol. 98 No. 3, pp. 361–371.
- Fontana, C., Cappa, F., Rebecchi, A. and Cocconcelli, P.S. (2010), “Surface microbiota analysis of Taleggio, Gorgonzola, Casera, Scimudin and Formaggio di Fossa Italian cheeses”, *International Journal of Food Microbiology*, Elsevier B.V., Vol. 138 No. 3, pp. 205–211.
- Forquin, M. (2010), *Étude de Brevibacterium Aurantiacum, Une Bactérie D’affinage de Fromage : De Son Métabolisme Du Soufre À Son Interaction Avec Kluyveromyces Lactis. Thèse de Doctorat.*, Institut des sciences et industries du vivant et de l’environnement (AgroParisTech).
- Fort, F., Palma, G., Sauvegrain, S.-A., Sbaï, H. and Padilla, M. (2012), “Consumer’s food sustainability perception: the case of tomato”, *Acta Horticulturae*, International Society for Horticultural Science, Vol. 971 No. 26, p. 217–223.
- Fox, P.F. (1993), “Cheese: an overview”, in Fox, P.F. (Ed.), *Cheese: Chemistry, Physics and Microbiology Volume 1 General Aspects*, Springer, Boston, USA, pp. 1–36.
- Fox, P.F. and McSweeney, P.L.H. (2004), “Cheese: An Overview”, in Fox, P.F., McSweeney, P.L.H., Cogan, T.M. and Guinee, T.P. (Eds.), *Cheese: Chemistry, Physics and Microbiology Volume 1: General Aspects*, Elsevier Academic Press The Netherlands, pp. 1–23.
- Fox, P.F., O’Connor, T.P., McSweeney, P.L., Guinee, T.P. and O’Brien, N.M. (1996), “Cheese: physical, biochemical, and nutritional aspects.”, *Advances in Food and Nutrition Research*, United States, Vol. 39, pp. 163–328.
- Fox, P.F. and Wallace, J.M. (1997), “Formation of flavor compounds in cheese.”, in Saul

- Neidleman and Laskin, A. (Eds.), *Advances in Applied Microbiology*, Vol. 45, Elsevier Masson SAS, USA, pp. 17–85.
- Frau, M., Massanet, J., Rosselló, C., Simal, S. and Cañellas, J. (1997), “Evolution of free amino acid content during ripening of Mahon cheese”, *Food Chemistry*, Vol. 60 No. 4, pp. 651–657.
- Freiwald, A. and Sauer, S. (2009), “Phylogenetic classification and identification of bacteria by mass spectrometry”, *Nature Protocols*, Nature Publishing Group, Vol. 4 No. 5, p. 732.
- Fresno, M. and Álvarez, S. (2012), “Chemical, textural and sensorial changes during the ripening of Majorero goat cheese”, *International Journal of Dairy Technology*, Vol. 65 No. 3, pp. 393–400.
- Fréтин, M. (2016), *Construction de La Qualité Sensorielle Des Fromages de Type Cantal : Rôle Des Interactions Entre Les Communautés Microbiennes et La Composition de La Matière Grasse Laitière Des Fromages. Thèse de Doctorat.*, Université Blaise Pascal.
- Frez-Muñoz, L., Steenbekkers, B.L.P.A. and Fogliano, V. (2016), “The Choice of Canned Whole Peeled Tomatoes is Driven by Different Key Quality Attributes Perceived by Consumers Having Different Familiarity with the Product”, *Journal of Food Science*, Vol. 81 No. 12, pp. S2988–S2996.
- Froc, J. (2006), *Balade Au Pays Des Fromages: Les Traditions Fromagères En France*, Editions Quae.
- FRÖHLICH-WYDER, M.-T. (2003), “Yeasts in dairy products”, in Boekhout, T. and Robert, V. (Eds.), *Yeasts in Food*, Woodhead Publishing, pp. 209–237.
- Gains, N. (1994), “The repertory grid approach”, *Measurement of Food Preferences*, Springer, pp. 51–76.
- Gajewski, K.G. and Hsieh, Y.-H.P. (2009), “Monoclonal antibody specific to a major fish allergen: parvalbumin”, *Journal of Food Protection*, International Association for Food Protection, Vol. 72 No. 4, pp. 818–825.

- Galaup, P., Gautier, A., Piriou, Y., Villeblanche, A. de, Valla, A. and Dufossé, L. (2007), "First pigment fingerprints from the rind of French PDO red-smear ripened soft cheeses Epoisses, Mont d'Or and Maroilles", *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, Vol. 8 No. 3, pp. 373–378.
- Garabal, J.I. (2007), "Biodiversity and the survival of autochthonous fermented products.", *International Microbiology : The Official Journal of the Spanish Society for Microbiology*, Spain, Vol. 10 No. 1, pp. 1–3.
- García-Cayuela, T., Requena, T., Martínez-Cuesta, M.C. and Peláez, C. (2017), "Rapid detection of *Lactococcus lactis* isolates producing the lantibiotics nisin, lacticin 481 and lacticin 3147 using MALDI-TOF MS", *Journal of Microbiological Methods*, Elsevier, Vol. 139, pp. 138–142.
- Gavriš, E.I., Krauzova, V.I., Potekhina, N. V, Karasev, S.G., Plotnikova, E.G., Altyntseva, O. V, Korosteleva, L.A., et al. (2004), "[Three new species of brevibacteria--*Brevibacterium antiquum* sp. nov., *Brevibacterium aurantiacum* sp. nov. and *Brevibacterium permense* sp. nov].", *Mikrobiologija*, Russia (Federation), Vol. 73 No. 2, pp. 218–225.
- Geurts, T.J., Walstra, P. and Mulder, H. (1974), "Water binding to milk protein, with particular reference to cheese", *Neth Milk Dairy J*, Vol. 28, pp. 46–72.
- Gobbetti, M., De Angelis, M., Di Cagno, R. and Rizzello, C.G. (2007), "The relative contributions of starter cultures and non-starter bacteria to the flavour of cheese", in Weimer B C (Ed.), *Improving the Flavour of Cheese*, Woodhead Publishing, pp. 121–156.
- Gobbetti, M., Folkertsma, B., Fox, P.F., Corsetti, A., Smacchi, E., De Angelis, M., Rossi, J., et al. (1999), "Microbiology and biochemistry of Fossa (pit) cheese", *International Dairy Journal*, Elsevier, Vol. 9 No. 11, pp. 763–773.
- Goerges, S., Mounier, J., Rea, M.C., Gelsomino, R., Heise, V., Beduhn, R., Cogan, T.M., et al. (2008), "Commercial ripening starter microorganisms inoculated into cheese milk do not successfully establish themselves in the resident microbial ripening consortia of a South German red smear cheese", *Applied and Environmental Microbiology*, American Society

- for Microbiology (ASM), Vol. 74 No. 7, pp. 2210–2217.
- Gómez-Corona, C., Lelievre-Desmas, M., Escalona Buendía, H.B., Chollet, S. and Valentin, D. (2016), “Craft beer representation amongst men in two different cultures”, *Food Quality and Preference*, Vol. 53, pp. 19–28.
- González-Martín, I., Hernández-Hierro, J.M., González-Pérez, C., Revilla, I., Vivar-Quintana, A. and Lobos Ortega, I. (2014), “Potential of near infrared spectroscopy for the analysis of volatile components in cheeses”, *LWT - Food Science and Technology*, Elsevier Ltd, Vol. 55 No. 2, pp. 666–673.
- Gori, K., Mortensen, H.D., Arneborg, N. and Jespersen, L. (2007), “Ammonia production and its possible role as a mediator of communication for *Debaryomyces hansenii* and other cheese-relevant yeast species.”, *Journal of Dairy Science*, United States, Vol. 90 No. 11, pp. 5032–5041.
- Gori, K., Sørensen, L.M., Petersen, M.A., Jespersen, L. and Arneborg, N. (2012), “*Debaryomyces hansenii* strains differ in their production of flavor compounds in a cheese-surface model”, *MicrobiologyOpen*, Blackwell Publishing Inc, Vol. 1 No. 2, pp. 161–168.
- Gouldsworthy, A.M., Leaver, J. and Banks, J.M. (1996), “Application of a mass spectrometry sequencing technique for identifying peptides present in Cheddar cheese”, *International Dairy Journal*, Elsevier, Vol. 6 No. 8–9, pp. 781–790.
- Grebitus, C. and Bruhn, M. (2008), “Analyzing semantic networks of pork quality by means of concept mapping”, *Food Quality and Preference*, Elsevier, Vol. 19 No. 1, pp. 86–96.
- Guéguen, M. and Schmidt, J.L. (1992), “Les levures et *Geotrichum candidum*”, in J. Hermier, J. Lenoir, F.W. (Ed.), *Les Groupes Microbiens D'intérêt Laitier*, CEPIL, Paris, France, pp. 165–219.
- Guerzoni, M.E., Lanciotti, R., Vannini, L., Galgano, F., Favati, F., Gardini, F. and Suzzi, G. (2001), “Variability of the lipolytic activity in *Yarrowia lipolytica* and its dependence on environmental conditions”, *International Journal of Food Microbiology*, Vol. 69 No. 1–2,

pp. 79–89.

Guggisberg, D., Winkler, H., Bütikofer, U., Fröhlich-Wyder, M.T., Egger, L., Badertscher, R. and Wechsler, D. (2017), “Influence of chemical and biochemical characteristics on the texture of Appenzeller®cheese”, *International Dairy Journal*, Vol. 75, pp. 111–119.

Hardy, J. (1997), “L’activité de l’eau et le salage des fromages.”, in Eck, A. and Gillis, J.. (Eds.), *Le Fromage*, Tec et Doc Lavoisier France, pp. 62–85.

Hassan, A.N. and Frank, J.F. (2001), “Starter cultures and their use”, in Marth, E.H. and Steele, J.L. (Eds.), *Applied Dairy Microbiology*, MaecelL Dekker New York, pp. 151–206.

Hermida, M., Gonzalez, J.M., Sanchez, M. and Rodriguez-Otero, J.L. (2001), “Moisture, solids-non-fat and fat analysis in butter by near infrared spectroscopy”, *International Dairy Journal*, Vol. 11 No. 1–2, pp. 93–98.

De Hoffmann, E. and Stroobant, V. (2005), *Spectrométrie de Masse: Cours et Exercices Corrigés*, Dunod.

Holzapfel, W.H., Geisen, R. and Schillinger, U. (1995), “Biological preservation of foods with reference to protective cultures, bacteriocins and food-grade enzymes”, *International Journal of Food Microbiology*, Vol. 24 No. 3, pp. 343–362.

Hong, J.H., Park, H.S., Chung, S.J., Chung, L., Cha, S.M., Lê, S. and Kim, K.O. (2014), “Effect of familiarity on a cross-cultural acceptance of a sweet ethnic food: A case study with Korean traditional cookie (Yackwa)”, *Journal of Sensory Studies*, Vol. 29 No. 2, pp. 110–125.

Hoppe-Seyler, T.S., Jaeger, B., Bockelmann, W., Noordman, W.H., Geis, A. and Heller, K.J. (2004), “Molecular Identification and Differentiation of *Staphylococcus* Species and Strains of Cheese Origin”, *Systematic and Applied Microbiology*, Vol. 27 No. 2, pp. 211–218.

Hoppert, K., Mai, R., Zahn, S., Hoffmann, S. and Rohm, H. (2012), “Integrating sensory evaluation in adaptive conjoint analysis to elaborate the conflicting influence of intrinsic

- and extrinsic attributes on food choice”, *Appetite*, Elsevier, Vol. 59 No. 3, pp. 949–955.
- Horne, J., Carpino, S., Tuminello, L., Rapisarda, T., Corallo, L. and Licitra, G. (2005), “Differences in volatiles, and chemical, microbial and sensory characteristics between artisanal and industrial Piacentinu Ennese cheeses”, *International Dairy Journal*, Vol. 15 No. 6–9, pp. 605–617.
- “<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed>”. (n.d.), available at: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed>.
- Huotilainen, A. and Tuorila, H. (2005), “Social representation of new foods has a stable structure based on suspicion and trust”, *Food Quality and Preference*, Vol. 16 No. 7, pp. 565–572.
- Hurley, I.P., Coleman, R.C., Ireland, H.E. and Williams, J.H.H. (2006), “Use of sandwich IgG ELISA for the detection and quantification of adulteration of milk and soft cheese”, *International Dairy Journal*, Vol. 16 No. 7, pp. 805–812.
- van Hylckama Vlieg, J.E.T. and Hugenholtz, J. (2007), “Mining natural diversity of lactic acid bacteria for flavour and health benefits”, *International Dairy Journal*, Vol. 17 No. 11, pp. 1290–1297.
- Irlinger, F. (2008), “Safety assessment of dairy microorganisms: Coagulase-negative staphylococci”, *International Journal of Food Microbiology*, Vol. 126 No. 3, pp. 302–310.
- Irlinger, F., Bimet, F., Delettre, J., Lefèvre, M. and Grimont, P.A.D. (2005), “*Arthrobacter bergerei* sp. nov. and *Arthrobacter arilaitensis* sp. nov., novel coryneform species isolated from the surfaces of cheeses”, *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, Vol. 55 No. 1, pp. 457–462.
- Irlinger, F., In Yung, S.A.Y., Sarthou, A.S., Delbès-Paus, C., Montel, M.C., Coton, E., Coton, M., et al. (2012), “Ecological and aromatic impact of two Gram-negative bacteria (*Psychrobacter celer* and *Hafnia alvei*) inoculated as part of the whole microbial community of an experimental smear soft cheese”, *International Journal of Food Microbiology*, Elsevier B.V., Vol. 153 No. 3, pp. 332–338.

- Irlinger, F., Layec, S., Hélinck, S. and Dugat-Bony, E. (2015), "Cheese rind microbial communities: Diversity, composition and origin", *FEMS Microbiology Letters*, Vol. 362 No. 2, pp. 1–11.
- Irlinger, F., Morvan, A., El Solh, N. and Bergere, J.L. (1997), "Taxonomic characterization of coagulase-negative staphylococci in ripening flora from traditional French cheeses", *Systematic and Applied Microbiology*, Gustav Fischer Verlag, Vol. 20 No. 2, pp. 319–328.
- Irlinger, F. and Mounier, J. (2009), "Microbial interactions in cheese: implications for cheese quality and safety", *Current Opinion in Biotechnology*, Vol. 20 No. 2, pp. 142–148.
- Jacobsen, T. and Poulsen, O.M. (1995), "Comparison of lipases from different strains of the fungus *Geotrichum candidum*", *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Lipids and Lipid Metabolism*, Elsevier, Vol. 1257 No. 2, pp. 96–102.
- Jany, J.L. and Barbier, G. (2008), "Culture-independent methods for identifying microbial communities in cheese", *Food Microbiology*, Vol. 25 No. 7, pp. 839–848.
- Jaster, H., Campos, A.C.L.P. de, Auer, L.B., Los, F.G.B., Salem, R.D.S., Esmerino, L.A., Nogueira, A., et al. (2014), "Quality evaluation of Parmesan-type cheese: a chemometric approach", *Food Science and Technology (Campinas)*, Vol. 34 No. 1, pp. 181–188.
- Jimenez-Maroto, L.A., Lopez-Hernandez, A., Borneman, D.L. and Rankin, S.A. (2016), "A comparison of fresh, pasta filata, and aged Hispanic cheeses using sensory, chemical, functional, and microbiological assessments", *Journal of Dairy Science*, Elsevier, Vol. 99 No. 4, pp. 2680–2693.
- Jodelet, D. (1984), "Représentations sociales: phénomène, concept et théorie", *Psychologie Sociale*, PUF, Paris, pp. 358–378.
- Johnson, E.J. and Russo, J.E. (1984), "Product Familiarity and Learning New Information", *Journal of Consumer Research*, Vol. 11 No. June, pp. 542–551.
- Jones, D., Watkins, J. and Erickson, S.K. (1973), "Taxonomically significant colour changes in *Brevibacterium linens* probably associated with a carotenoid-like pigment",

- Microbiology*, Microbiology Society, Vol. 77 No. 1, pp. 145–150.
- Kamal, M. and Karoui, R. (2015), “Analytical methods coupled with chemometric tools for determining the authenticity and detecting the adulteration of dairy products: A review”, *Trends in Food Science & Technology*, Vol. 46 No. 1, pp. 27–48.
- Karoui, R. and De Baerdemaeker, J. (2007), “A review of the analytical methods coupled with chemometric tools for the determination of the quality and identity of dairy products”, *Food Chemistry*, Vol. 102 No. 3, pp. 621–640.
- Karoui, R., Bosset, J.-O., Mazerolles, G., Kulmyrzaev, A. and Dufour, É. (2005), “Monitoring the geographic origin of both experimental French Jura hard cheeses and Swiss Gruyère and L’Etivaz PDO cheeses using mid-infrared and fluorescence spectroscopies: a preliminary investigation”, *International Dairy Journal*, Elsevier, Vol. 15 No. 3, pp. 275–286.
- Karoui, R., Downey, G. and Blecker, C. (2010), “Mid-infrared spectroscopy coupled with chemometrics: A tool for the analysis of intact food systems and the exploration of their molecular structure– Quality relationships– A review”, *Chemical Reviews*, ACS Publications, Vol. 110 No. 10, pp. 6144–6168.
- Karoui, R., Mazerolles, G., Bosset, J.-O., De Baerdemaeker, J. and Dufour, E. (2007), “Utilisation of mid-infrared spectroscopy for determination of the geographic origin of Gruyere PDO and L’Etivaz PDO Swiss cheeses”, *Food Chemistry*, Elsevier, Vol. 105 No. 2, pp. 847–854.
- Kemptner, J., Marchetti Deschmann, M., Siekmann, J., Turecek, P.L., Schwarz, H.P. and Allmaier, G. (2010), “GEMMA and MALDI-TOF MS of reactive PEGs for pharmaceutical applications”, *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, Vol. 52 No. 4, pp. 432–437.
- Khan, M.A. and Hackler, L.R. (1981), “Evaluation of food selection patterns and preferences”, *Critical Reviews In Food Science & Nutrition*, Taylor & Francis, Vol. 15 No. 2, pp. 129–153.
- Kilcawley, K.N. (2017), “Cheese flavour”, in Fox, P.F., Guinee, T.P., Cogan, T.M. and McSweeney, P.L.H. (Eds.), *Fundamentals of Cheese Science*, Springer USA, pp. 443–474.

- Kim, N.S., Lee, J.H., Han, K.M., Kim, J.W., Cho, S. and Kim, J. (2014), "Discrimination of commercial cheeses from fatty acid profiles and phytosterol contents obtained by GC and PCA", *Food Chemistry*, Vol. 143, pp. 40–47.
- Kindstedt, P.S. (2014), "The basis of cheesemaking.", in Donnelly Catherine W (Ed.), *Cheese and Microbes*, ASM Press, Washington, DC., pp. 17–38.
- Klandar, A.H., Lagaude, A. and Chevalier-Lucia, D. (2007), "Assessment of the rennet coagulation of skim milk: A comparison of methods", *International Dairy Journal*, Elsevier, Vol. 17 No. 10, pp. 1151–1160.
- Kongo, J.M. (2013), "Lactic Acid Bacteria as Starter-Cultures for Cheese Processing: Past, Present and Future Developments", in Kongo, J.M. (Ed.), *Lactic Acid Bacteria - R & D for Food, Health and Livestock Purposes*, InTech, Rijeka.
- Lambrechts, C., Escudero, J. and Galzy, P. (1995), "Purification and properties of three esterases from *Brevibacterium sp. R312*", *Journal of Applied Bacteriology*, Wiley/Blackwell (10.1111), Vol. 78 No. 2, pp. 180–188.
- Lambrechts, C. and Galzy, P. (1995), "Esterase Activities of *Brevibacterium sp. R312* and *Brevibacterium linens 62*", *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*, Vol. 59 No. 8, pp. 1464–1471.
- Lange, M., Champagne, C.P. and Goulet, J. (1994), "Contribution de *Lactococcus lactis ssp lactis biovar diacetylactis* au brunissement de fromages de types Brie et Camembert", *Le Lait*, Vol. 74 No. 3, pp. 187–195.
- Laporte, M.-F., Martel, R. and Paquin, P. (1998), "The near-infrared optic probe for monitoring rennet coagulation in cow's milk", *International Dairy Journal*, Elsevier, Vol. 8 No. 7, pp. 659–666.
- Laureati, M., Conte, A., Padalino, L., Del Nobile, M.A. and Pagliarini, E. (2016), "Effect of Fiber Information on Consumer's Expectation and Liking of Wheat Bran Enriched Pasta", *Journal of Sensory Studies*, Vol. 31 No. 4, pp. 348–359.

- Laureati, M., Jabes, D., Russo, V. and Pagliarini, E. (2013), "Sustainability and organic production: How information influences consumer's expectation and preference for yogurt", *Food Quality and Preference*, Elsevier Ltd, Vol. 30 No. 1, pp. 1–8.
- Lawless, H.T., Sheng, N. and Knoops, S.S.C.I. (1995), "Multidimensional scaling Data Applied to cheese perception", *Taste*, Vol. 3293 No. 94, pp. 91–98.
- Lawless, L.J.R., Threlfall, R.T. and Meullenet, J. (2013), "Using a Choice Design to Screen Nutraceutical-Rich Juices", *Journal of Sensory Studies*, Wiley Online Library, Vol. 28 No. 2, pp. 113–124.
- Lawless, L.J.R., Threlfall, R.T., Meullenet, J. and Howard, L.R. (2013), "Applying a mixture design for consumer optimization of black cherry, concord grape and pomegranate juice blends", *Journal of Sensory Studies*, Wiley Online Library, Vol. 28 No. 2, pp. 102–112.
- Lebecque, A., Laguet, A., Devaux, M.F. and Dufour, E. (2001), "Delineation of the texture of Salers cheese by sensory analysis and physical methods", *Le Lait*, Vol. 81 No. 5, pp. 609–624.
- Leclercq-Perlat, M.-N., Corrieu, G. and Spinnler, H.-E. (2004), "The Color of *Brevibacterium linens* Depends on the Yeast Used for Cheese Deacidification", *Journal of Dairy Science*, Elsevier, Vol. 87 No. 5, pp. 1536–1544.
- Leclercq-Perlat, M.N., Oumer, A., Bergere, J.L., Spinnler, H.E. and Corrieu, G. (1999), "Growth of *Debaryomyces hansenii* on a bacterial surface-ripened soft cheese", *Journal of Dairy Research*, Vol. 66 No. 2, pp. 271–281.
- Lee, J., Chambers, E., Chambers, D.H., Chun, S.S., Oupadissakoon, C. and Johnson, D.E. (2010), "Consumer acceptance for green tea by consumers in the United States, Korea and Thailand", *Journal of Sensory Studies*, Vol. 25 No. SUPPL. 1, pp. 109–132.
- Lee, M., Chung, H.S., Moon, H.W., Lee, S.H. and Lee, K. (2015), "Comparative evaluation of two matrix-assisted laser desorption ionization time-of-flight mass spectrometry (MALDI-TOF MS) systems, Vitek MS and Microflex LT, for the identification of Gram-positive cocci routinely isolated in clinical microbiology laboratory", *Journal of Microbiological Methods*,

- Elsevier B.V., Vol. 113, pp. 13–15.
- Lelièvre, M., Chollet, S., Abdi, H. and Valentin, D. (2008), “What is the validity of the sorting task for describing beers? A study using trained and untrained assessors”, *Food Quality and Preference*, Vol. 19 No. 8, pp. 697–703.
- Lelièvre, M., Chollet, S., Abdi, H. and Valentin, D. (2009), “Beer-trained and untrained assessors rely more on vision than on taste when they categorize beers”, *Chemosensory Perception*, Springer, Vol. 2 No. 3, pp. 143–153.
- Lenoir, J., Lamberet, G. and Schmidt, J.L. (1983), “L’élaboration d’un fromage: l’exemple du Camembert.”, *Pour La Science*, Vol. 69, pp. 30–42.
- Lenoir, J., Lamberet, G., Schmidt, J.L. and Tourneur, C. (1985), “La maîtrise du bioréacteur fromage”, *Biofutur*, Vol. 41, pp. 23–50.
- Leroy, F. and De Vuyst, L. (2004), “Lactic acid bacteria as functional starter cultures for the food fermentation industry”, *Trends in Food Science and Technology*, Vol. 15 No. 2, pp. 67–78.
- Lucey, J.A. and Singh, H. (1997), “Formation and physical properties of acid milk gels: a review”, *Food Research International*, Vol. 30 No. 7, pp. 529–542.
- Luykx, D.M.A.M. and Van Ruth, S.M. (2008), “An overview of analytical methods for determining the geographical origin of food products”, *Food Chemistry*, Elsevier, Vol. 107 No. 2, pp. 897–911.
- Lyndgaard, C.B., Engelsen, S.B. and van den Berg, F.W.J. (2012), “Real-time modeling of milk coagulation using in-line near infrared spectroscopy”, *Journal of Food Engineering*, Elsevier, Vol. 108 No. 2, pp. 345–352.
- Mahaut, M., Jeantet, R. and Brulé, G. (2000), *Initiation À La Technologie Fromagère*, Tec & Doc Lavoisier France.
- Majcherczyk, P.A., McKenna, T., Moreillon, P. and Vaudaux, P. (2006), “The discriminatory

- power of MALDI-TOF mass spectrometry to differentiate between isogenic teicoplanin-susceptible and teicoplanin-resistant strains of methicillin-resistant *Staphylococcus aureus*", *FEMS Microbiology Letters*, Blackwell Publishing Ltd Oxford, UK, Vol. 255 No. 2, pp. 233–239.
- Mäkinieniemi, J.-P.P., Pirttilä-Backman, A.-M.M. and Pieri, M. (2011), "Ethical and unethical food. Social representations among Finnish, Danish and Italian students", *Appetite*, Elsevier, Vol. 56 No. 2, pp. 495–502.
- Mamone, G., Caira, S., Garro, G., Mauriello, R., Nicolai, M.A., Picariello, G., Calabrese, M.G., et al. (2013), "Challenging the heterogeneity of casein by an IEF/MALDI-TOF 'virtual 2D-like' approach", *Food Research International*, Elsevier, Vol. 54 No. 1, pp. 1263–1272.
- Manca, G., Franco, M.A., Versini, G., Camin, F., Rossmann, A. and Tola, A. (2006), "Correlation Between Multielement Stable Isotope Ratio and Geographical Origin in Peretta Cows' Milk Cheese", *Journal of Dairy Science*, Elsevier, Vol. 89 No. 3, pp. 831–839.
- Mansour, A. and Alais, C. (1971), "Etude du salage et de l'affinage du fromage en saumure .I. Aspect biochimique : Evolution de la composition du fromage et rendement", *Le Lait*, Vol. 52 No. 518, pp. 515–535.
- Mansour, S., Beckerich, J.M. and Bonnarne, P. (2008), "Lactate and amino acid catabolism in the cheese-ripening yeast *Yarrowia lipolytica*", *Applied and Environmental Microbiology*, Am Soc Microbiol, Vol. 74 No. 21, pp. 6505–6512.
- Marcellino, N. and Benson, D.R. (1992), "Scanning electron and light microscopic study of microbial succession on Bethlehem St. Nectaire cheese", *Applied and Environmental Microbiology*, Am Soc Microbiol, Vol. 58 No. 11, pp. 3448–3454.
- Marcos, A. (1993), "Water activity in cheese in relation to composition, stability and safety", in P. F. Fox (Ed.), *Cheese: Chemistry, Physics and Microbiology Volume 1 General Aspects*, Springer, Boston, USA, pp. 439–469.
- Mariaca, R. and Bosset, J.O. (1997), "Instrumental analysis of volatile (flavour) compounds in milk and dairy products", *Lait*, Vol. 77 No. 1, pp. 13–40.

- Marilley, L. and Casey, M.G. (2004), "Flavours of cheese products: Metabolic pathways, analytical tools and identification of producing strains", *International Journal of Food Microbiology*, Vol. 90 No. 2, pp. 139–159.
- Marklein, G., Josten, M., Klanke, U., Müller, E., Horré, R., Maier, T., Wenzel, T., et al. (2009), "Matrix-assisted laser desorption ionization-time of flight mass spectrometry for fast and reliable identification of clinical yeast isolates", *Journal of Clinical Microbiology*, Am Soc Microbiol, Vol. 47 No. 9, pp. 2912–2917.
- Martley, F.G. and Crow, V.L. (1993), "Interaction between non-starter microorganisms during cheese manufacture and ripening", *International Dairy Journal*, Vol. 3, pp. 461–483.
- Masoud, W., Vogensen, F.K., Lillevang, S., Abu Al-Soud, W., Sørensen, S.J. and Jakobsen, M. (2012), "The fate of indigenous microbiota, starter cultures, *Escherichia coli*, *Listeria innocua* and *Staphylococcus aureus* in Danish raw milk and cheeses determined by pyrosequencing and quantitative real time (qRT)-PCR", *International Journal of Food Microbiology*, Elsevier B.V., Vol. 153 No. 1–2, pp. 192–202.
- Mazerolles, G., Duboz, G. and Hugot, S. (2000), "Détermination des taux d'humidité et de matière grasse de fromages de type pâte pressée par spectroscopie proche infrarouge en mode transmission", *Le Lait*, EDP Sciences, Vol. 80 No. 3, pp. 371–379.
- McSweeney, P.L.H. (2004), "Biochemistry of Cheese Ripening", *International Journal of Dairy Technology*, Vol. 57 No. 2, pp. 667–674.
- McSweeney, P.L.H. and Fox, P.F. (2013), *Advanced Dairy Chemistry*, 4th Editio., Vol. 3.
- McSweeney, P.L.H., Ottogalli, G. and Fox, P.F. (2004), "Diversity of cheese varieties: An overview", in Fox, P.F., McSweeney, P.L.H., Cogan, T.M. and Guinee, T.P. (Eds.), *Cheese: Chemistry, Physics and Microbiology Volume 2, Major Cheese Groups*, Academic Press, pp. 1–23.
- McSweeney, P.L.H. and Sousa, M.J. (1999), "Biochemical pathways for the production of flavour compounds in raw and pasteurized milk cheeses during ripening", *Proceedings of the Symposium on Quality and Microbiology of Traditional and Raw Milk Cheeses*, Cost

- Action*, Vol. 95, pp. 73–126.
- McSweeney, P.L.H. and Sousa, M.J. (2000), “Biochemical pathways for the production of flavour compounds in cheeses during ripening: A review”, *Lait*, Vol. 80 No. 3, pp. 293–324.
- Meex, C., Neuville, F., Descy, J., Huynen, P., Hayette, M.P., De Mol, P. and Melin, P. (2012), “Direct identification of bacteria from Bact/ALERT anaerobic positive blood cultures by MALDI-TOF MS: MALDI Sepsityper kit versus an in-house saponin method for bacterial extraction”, *Journal of Medical Microbiology*, Vol. 61 No. PART 11, pp. 1511–1516.
- Methven, L., Langrenney, E. and Prescott, J. (2012), “Changes in liking for a no added salt soup as a function of exposure”, *Food Quality and Preference*, Elsevier Ltd, Vol. 26 No. 2, pp. 135–140.
- Michel, V., Auwuy, A.H. and Hamba, J.C. (2001), “La flore microbienne de laits crus de vache : diversité et influence des conditions de production”, *Lait*, Vol. 81, pp. 575–592.
- Mietton, B. (1995), “Incidence de la composition des fromages au démoulage et des paramètres d’environnement sur l’activité des agents de l’affinage”, *Revue Des ENIL*, Vol. 189, pp. 19–27.
- Mietton, B., Desmazeaud, M., De Roissart, H. and Weber, F. (1994), “Transformation du lait en fromage”, in de Roissart, H and Luquet, F.M. (Eds.), *Bactéries Lactiques Volume 2*, Loriga Uriage, pp. 55–132.
- Millán, R., Saavedra, P., Sanjuán, E. and Castelo, M. (1996), “Application of discriminant analysis to physico-chemical variables for characterizing Spanish cheeses”, *Food Chemistry*, Vol. 55 No. 2, pp. 189–191.
- Mistry, V. V and Kasperson, K.M. (1998), “Influence of Salt on the Quality of Reduced Fat Cheddar Cheese¹”, *Journal of Dairy Science*, Vol. 81 No. 5, pp. 1214–1221.
- Molimard, P. and Spinnler, H.E. (1996), “Review: Compounds involved in the flavor of surface mold-ripened cheeses: Origins and properties”, *Journal of Dairy Science*, Vol. 79 No. 2,

pp. 169–184.

Molimard, P., Vassal, L., Bouvier, I. and Spinnler, H.E. (1995), “Suivi de croissance de *Penicillium camemberti* et *Geotrichum candidum* en culture pure et en association au cours de l’affinage de fromages expérimentaux à pâte molle de type Camembert”, *Le Lait*, Vol. 75 No. 1, pp. 3–16.

Lo Monaco, G. and Guimelli, C. (2008), “Représentations sociales, pratique de consommation et niveau de connaissance: le cas du vin”, *Les Cahiers Internationaux de Psychologie Sociale*, No. 78, pp. 35–50.

Montel, M.C., Buchin, S., Mallet, A., Delbes-Paus, C., Vuitton, D.A., Desmasures, N. and Berthier, F. (2014), “Traditional cheeses: Rich and diverse microbiota with associated benefits”, *International Journal of Food Microbiology*, Elsevier B.V., Vol. 177, pp. 136–154.

Moraes, P.M., Perin, L.M., Tassinari Ortolani, M.B., Yamazi, A.K., Viçosa, G.N. and Nero, L.A. (2010), “Protocols for the isolation and detection of lactic acid bacteria with bacteriocinogenic potential”, *LWT - Food Science and Technology*, Elsevier Ltd, Vol. 43 No. 9, pp. 1320–1324.

Morales, P., Feliu, I., Fernandez-Garcia, E. and Nunez, M. (2004), “Volatile compounds produced in cheese by *Enterobacteriaceae* strains of dairy origin.”, *Journal of Food Protection*, United States, Vol. 67 No. 3, pp. 567–573.

Morales, P., Fernández-García, E. and Nuñez, M. (2003), “Caseinolysis in cheese by *Enterobacteriaceae* strains of dairy origin”, *Letters in Applied Microbiology*, Vol. 37 No. 5, pp. 410–414.

Morales, P., Fernández-garcía, E. and Nuez, M. (2005), “Volatile compounds produced in cheese by *Pseudomonas* Strains of dairy origin belonging to six different species”, *J.Agric.FoodChem.*, Vol. 53, p. 6835–6843.

Morel, G. (2012), *La Levure Geotrichum Candidum : Taxonomie, Biodiversité et Génome. These de Doctorat*, Université Paris-Sud XI Orsay, France.

- Moscovici, S. (1961), *La Psychanalyse: Son Image et Son Public.*, Presses universitaires de France.
- Mounier, J., Gelsomino, R., Goerges, S., Vancanneyt, M., Vandemeulebroecke, K., Hoste, B., Scherer, S., et al. (2005), "Surface microflora of four smear-ripened cheeses", *Applied and Environmental Microbiology*, Vol. 71 No. 11, pp. 6489–6500.
- Mounier, J., Monnet, C., Jacques, N., Antoinette, A. and Irlinger, F. (2009), "Assessment of the microbial diversity at the surface of Livarot cheese using culture-dependent and independent approaches", *International Journal of Food Microbiology*, Elsevier B.V., Vol. 133 No. 1–2, pp. 31–37.
- Mounier, J., Rea, M.C., O'Connor, P.M., Fitzgerald, G.F. and Cogan, T.M. (2007), "Growth characteristics of *Brevibacterium*, *Corynebacterium*, *Microbacterium*, and *Staphylococcus spp.* isolated from surface-ripened cheese", *Applied and Environmental Microbiology*, Vol. 73 No. 23, pp. 7732–7739.
- Mouret, M., Lo Monaco, G., Urdapilleta, I. and Parr, W. V. (2013), "Social representations of wine and culture: A comparison between France and New Zealand", *Food Quality and Preference*, Elsevier Ltd, Vol. 30 No. 2, pp. 102–107.
- Ndoye, B., Rasolofo, E.A., LaPointe, G. and Roy, D. (2011), "A review of the molecular approaches to investigate the diversity and activity of cheese microbiota", *Dairy Science & Technology*, Springer, Vol. 91 No. 5, p. 495.
- Nielsen, S.S. (2010), "Immune-based Diagnosis of Paratuberculosis", in Behrs, M.A. and Collins, D.M. (Eds.), *Paratuberculosis: Organism, Disease, Control*, CAB International, Oxfordshire, pp. 284–293.
- Nollet, L.M.L. and Toldrá, F. (2012), *Food Analysis by HPLC*, CRC Press.
- O'mahony, J.A. and Fox, P.F. (2013), "Milk proteins: Introduction and historical aspects", in Fox, P.F. and Mc Sweeney Paul L. H. (Eds.), *Advanced Dairy Chemistry*, Springer USA, pp. 43–85.

- Ocak, E., Javidipour, I. and Tunçturk, Y. (2015), "Volatile compounds of Van Herby cheeses produced with raw and pasteurized milks from different species", *Journal of Food Science and Technology*, Springer, Vol. 52 No. 7, pp. 4315–4323.
- Okpala, C.O.R., Piggott, J.R. and Schaschke, C.J. (2010), "Influence of high-pressure processing (HPP) on physico-chemical properties of fresh cheese", *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, Vol. 11 No. 1, pp. 61–67.
- Ortolani, M.B., Yamazi, A.K., Moraes, P.M., Vicoso, G.N. and Nero, L.A. (2010), "Microbiological quality and safety of raw milk and soft cheese and detection of autochthonous lactic acid bacteria with antagonistic activity against *Listeria monocytogenes*, *Salmonella Spp.*, and *Staphylococcus aureus*.", *Foodborne Pathogens and Disease*, United States, Vol. 7 No. 2, pp. 175–180.
- Parente, E. and Cogan, T.M. (2004), "Starter Cultures: General Aspects", in Fox, P.F., McSweeney, P.L.H., Cogan, T.M. and Guinee, T.P. (Eds.), *Cheese: Chemistry, Physics and Microbiology : Volume 1 General Aspects*, Vol. 1, Academic Press, pp. 123–147.
- Parr, W. V., Mouret, M., Blackmore, S., Pelquest-Hunt, T. and Urdapilleta, I. (2011), "Representation of complexity in wine: Influence of expertise", *Food Quality and Preference*, Elsevier Ltd, Vol. 22 No. 7, pp. 647–660.
- Pavlovic, M., Mewes, A., Maggipinto, M., Schmidt, W., Messelhäuser, U., Balsliemke, J., Hörmansdorfer, S., et al. (2014), "MALDI-TOF MS based identification of food-borne yeast isolates", *Journal of Microbiological Methods*, Elsevier, Vol. 106, pp. 123–128.
- Péres, C., Viallon, C. and Berdagué, J.-L. (2001), "Solid-phase microextraction-mass spectrometry: a new approach to the rapid characterization of cheeses", *Analytical Chemistry*, ACS Publications, Vol. 73 No. 5, pp. 1030–1036.
- Petit, C. and Vanzeveren, E. (2015), *Adoption and Use of Flash Profiling in Daily New Product Development: A Testimonial, Rapid Sensory Profiling Techniques and Related Methods: Applications in New Product Development and Consumer Research*, Woodhead Publishing Limited.

- Pilgrim, F.J. (1957), "The components of food acceptance and their measurement", *The American Journal of Clinical Nutrition*, Am Soc Nutrition, Vol. 5 No. 2, pp. 171–175.
- Pillonel, L., Ampuero, S., Tabacchi, R. and Bosset, J.O. (2003), "Analytical methods for the determination of the geographic origin of Emmental cheese: Volatile compounds by GC/MS-FID and electronic nose", *European Food Research and Technology*, Vol. 216 No. 2, pp. 179–183.
- Pillonel, L., Luginbühl, W., Picque, D., Schaller, E., Tabacchi, R. and Bosset, J. (2003), "Analytical methods for the determination of the geographic origin of Emmental cheese: mid-and near-infrared spectroscopy", *European Food Research and Technology*, Springer, Vol. 216 No. 2, pp. 174–178.
- Piraino, P., Upadhyay, V.K., Rossano, R., Riccio, P., Parente, E., Kelly, A.L. and McSweeney, P.L.H. (2006), "Use of mass spectrometry to characterize proteolysis in cheese", *Food Chemistry*, Vol. 101 No. 3, pp. 964–972.
- Piras, C., Cesare Marincola, F., Savorani, F., Engelsen, S.B., Cosentino, S., Viale, S. and Pisano, M.B. (2013), "A NMR metabolomics study of the ripening process of the Fiore Sardo cheese produced with autochthonous adjunct cultures", *Food Chemistry*, Vol. 141 No. 3, pp. 2137–2147.
- Popović, N.T., Kazazić, S.P., Strunjak-Perović, I. and Čož-Rakovac, R. (2017), "Differentiation of environmental aquatic bacterial isolates by MALDI-TOF MS", *Environmental Research*, Vol. 152 No. October 2016, pp. 7–16.
- Pottier, I., Gente, S., Vernoux, J.-P. and Guéguen, M. (2008), "Safety assessment of dairy microorganisms: *Geotrichum candidum*", *International Journal of Food Microbiology*, Vol. 126 No. 3, p. 327–332.
- Prescott, J., Young, O., Zhang, S. and Cummings, T. (2004), "Effects of added 'flavour principles' on liking and familiarity of a sheepmeat product: A comparison of Singaporean and New Zealand consumers", *Food Quality and Preference*, Vol. 15 No. 2, pp. 187–194.
- Quigley, L., McCarthy, R., O'Sullivan, O., Beresford, T.P., Fitzgerald, G.F., Ross, R.P., Stanton,

- C., et al. (2013), "The microbial content of raw and pasteurized cow milk as determined by molecular approaches", *Journal of Dairy Science*, Elsevier, Vol. 96 No. 8, pp. 4928–4937.
- Quigley, L., O'Sullivan, O., Beresford, T.P., Ross, R.P., Fitzgerald, G.F. and Cotter, P.D. (2011), "Molecular approaches to analysing the microbial composition of raw milk and raw milk cheese", *International Journal of Food Microbiology*, Elsevier B.V., Vol. 150 No. 2–3, pp. 81–94.
- Quigley, L., O'Sullivan, O., Beresford, T.P., Ross, R.P., Fitzgerald, G.F. and Cotter, P.D. (2012), "High-throughput sequencing for detection of subpopulations of bacteria not previously associated with artisanal cheeses", *Applied and Environmental Microbiology*, Vol. 78 No. 16, pp. 5717–5723.
- Raju, P.S., Lonial, S.C. and Glynn Mangold, W. (1995), "Differential effects of subjective knowledge, objective knowledge, and usage experience on decision making: An exploratory investigation", *Journal of Consumer Psychology*, Wiley Online Library, Vol. 4 No. 2, pp. 153–180.
- Ramet, J.P. (1985), *La Fromagerie et Les Variétés de Fromages Du Bassin Méditerranéen*, FAO, Roma (Italia).
- Ramet, J.P. (1997a), "Les agents de la transformation du lait", in Eck, A. and Gillis, J.C. (Eds.), *Le Fromage*, Tec & Doc Lavoisier France, pp. 165–174.
- Ramet, J.P. (1997b), "L'égouttage du coagulum", in Eck, A. and Gillis, J.C. (Eds.), *Le Fromage*, Tec et DocLavoisier France, pp. 42–61.
- Randall, E. and Sanjur, D. (1981), "Food preferences—their conceptualization and relationship to consumption", *Ecology of Food and Nutrition*, Taylor & Francis, Vol. 11 No. 3, pp. 151–161.
- Rao, A.R. and Monroe, B.K. (1988), "The Moderating Effect of Prior Knowledge on Cue Utilization in Product Evaluations", *Journal of Consumer Research*, Vol. 15 No. 2, pp. 253–264.

- Rao, T., Shen, B., Zhu, Z., Shao, Y., Kang, D., Li, X., Yin, X., et al. (2017), "Talanta Optimization and evaluation of MALDI TOF mass spectrometric imaging for quantification of orally dosed octreotide in mouse tissues", *Talanta*, Elsevier, Vol. 165 No. October 2016, pp. 128–135.
- Rattray, F.P. and Fox, P.F. (1999), "Aspects of Enzymology and Biochemical Properties of *Brevibacterium linens* Relevant to Cheese Ripening: A Review", *Journal of Dairy Science*, Elsevier, Vol. 82 No. 5, pp. 891–909.
- Rea, M.C., Görges, S., Gelsomino, R., Brennan, N.M., Mounier, J., Vancanneyt, M., Scherer, S., et al. (2007), "Stability of the Biodiversity of the Surface Consortia of Gubbeen, a Red-Smear Cheese", *Journal of Dairy Science*, Vol. 90 No. 5, pp. 2200–2210.
- Rea, S., Marino, L., Stocchi, R., Branciarri, R., Loschi, A.R., Miraglia, D. and Ranucci, D. (2016), "Differences in chemical, physical and microbiological characteristics of Italian Burrata cheeses made in artisanal and industrial plants of the Apulia Region", *Italian Journal of Food Safety*, Vol. 5 No. 3, p. 5879.
- Revilla, I., González-Martín, I., Hernández-Hierro, J.M., Vivar-Quintana, A., González-Pérez, C. and Lurueña-Martínez, M.A. (2009), "Texture evaluation in cheeses by NIRS technology employing a fibre-optic probe", *Journal of Food Engineering*, Elsevier, Vol. 92 No. 1, pp. 24–28.
- Riahi, M.H. (2006), *Modélisation de Phénomènes Microbiologiques, Biochimiques et Physicochimiques Intervenant Lors de L'affinage D'un Fromage de Type Pate Molle Croute Lavée. Thèse de Doctorat*, Institut National Agronomique Paris-Grignon.
- Richard, J. and Gratadoux J., J. (1984), "Evolution de la flore microbienne à la surface des Camemberts fabriqués avec du lait cru", *Lait*, Vol. 64 No. 645–646, pp. 496–520.
- Rodrigues, H., Ballester, J., Saenz-Navajas, M.P. and Valentin, D. (2015), "Structural approach of social representation: Application to the concept of wine minerality in experts and consumers", *Food Quality and Preference*, Elsevier Ltd, Vol. 46, pp. 166–172.
- Rusconi, F. (2011), *Manuel de Spectrométrie de Masse À L'usage Des Biochimistes*, Lavoisier.

- Rynne, N.M., Beresford, T.P., Guinee, T.P., Sheehan, E., Delahunty, C.M. and Kelly, A.L. (2008), "Effect of high-pressure treatment of 1 day-old full-fat Cheddar cheese on subsequent quality and ripening", *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, Vol. 9 No. 4, pp. 429–440.
- de Saint Simon, M. (2000), *Spectrometrie de Masse*, Encyclopaedia Universalis.
- Salla, V. and Murray, K.K. (2013), "Matrix-assisted laser desorption ionization mass spectrometry for identification of shrimp", *Analytica Chimica Acta*, Elsevier B.V., Vol. 794, pp. 55–59.
- Sandoval-Copado, J., Orozco-Villafuerte, J., Pedrero-Fuehrer, D. and Colín-Cruz, M.A. (2016), "Sensory profile development of Oaxaca cheese and relationship with physicochemical parameters", *Journal of Dairy Science*, Elsevier, Vol. 99 No. 9, pp. 7075–7084.
- Santosa, M., Abdi, H. and Guinard, J.X. (2010), "A modified sorting task to investigate consumer perceptions of extra virgin olive oils", *Food Quality and Preference*, Elsevier Ltd, Vol. 21 No. 7, pp. 881–892.
- Schroeder, C.L., Bodyfelt, F.W., Wyatt, C.J. and McDaniel, M.R. (1988), "Reduction of Sodium Chloride in Cheddar Cheese: Effect on Sensory, Microbiological, and Chemical Properties¹", *Journal of Dairy Science*, Vol. 71 No. 8, pp. 2010–2020.
- Schulz-Collins, D. and Senge, B. (2004), "Acid- and acid/rennet-curd cheeses part A: Quark, cream cheese and related varieties", in Patrick F. Fox, McSweeney, P.L.H., Cogan, T.M. and Guinee, T.P. (Eds.), *Cheese: Chemistry, Physics and Microbiology Volume 2, Major Cheese Goups*, Academic Press, pp. 301–328.
- Schwertner, H.A. and Rios, D.C. (2007), "High-performance liquid chromatographic analysis of 6-gingerol, 8-gingerol, 10-gingerol, and 6-shogaol in ginger-containing dietary supplements, spices, teas, and beverages", *Journal of Chromatography B*, Vol. 856 No. 1, pp. 41–47.
- Seo, H.S., Buschhüter, D. and Hummel, T. (2008), "Contextual influences on the relationship between familiarity and hedonicity of odors", *Journal of Food Science*, Vol. 73 No. 6, pp.

273–278.

Seo, S., Kim, O.Y., Oh, S. and Yun, N. (2013), “Influence of informational and experiential familiarity on image of local foods”, *International Journal of Hospitality Management*, Elsevier Ltd, Vol. 34 No. 1, pp. 295–308.

Shepherd, D. (1985), “Dietary salt intake”, *Nutrition & Food Science*, MCB UP Ltd, Vol. 85 No. 5, pp. 10–11.

Shintu, L. and Caldarelli, S. (2005), “High-Resolution MAS NMR and Chemometrics: Characterization of the Ripening of Parmigiano Reggiano Cheese”, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, American Chemical Society, Vol. 53 No. 10, pp. 4026–4031.

Sicard, M. (2010), *Méthodes, Concepts et Outils Des Systèmes Complexes Pour Maitriser Les Procédés Alimentaires. Application À L'affinage de Camemberts. Thèse de Doctorat*, Institut des sciences et industries du vivant et de l'environnement(AgroParisTech).

Sieffermann, J.-M. (1995), *Etude Comparative de Methodes Descriptives En Analyse Sensorielle Application a L'évaluation de L'efficacite Du Profil Sensoriel Libre*, ENSIA.

Sieffermann, J.M. (2000), “Le profil flash: un outil rapide et innovant d'évaluation sensorielle descriptive”, *L'innovation: De L'idee Au succes–Douziemes Rencontres AGORAL*, pp. 335–340.

Simonnet-Toussaint, C., Lecigne, A. and Keller, P.-H. (2005), “Les représentations sociales du vin chez de jeunes adultes: du consensus aux spécificités de groupes”, *Bulletin de Psychologie*, Groupe d'études de psychologie, Vol. 479 No. 5, pp. 535–547.

Smit, G., Smit, B.A. and Engels, W.J.M. (2005), “Flavour formation by lactic acid bacteria and biochemical flavour profiling of cheese products.”, *FEMS Microbiology Reviews*, England, Vol. 29 No. 3, pp. 591–610.

Spanu, T., Posteraro, B., Fiori, B., D'Inzeo, T., Campoli, S., Ruggeri, A., Tumbarello, M., et al. (2012), “Direct MALDI-TOF mass spectrometry assay of blood culture broths for rapid identification of *Candida* species causing bloodstream infections: An observational study

- in two large microbiology laboratories”, *Journal of Clinical Microbiology*, Vol. 50 No. 1, pp. 176–179.
- Spinnler, H.-E. and Gripon, J.-C. (2004), “Surface mould-ripened cheeses”, in Fox, P.F., McSweeney, P.L.H., Cogan, T.M. and Guinee, T.P. (Eds.), *Cheese: Chemistry, Physics and Microbiology Volume 2 : Major Cheese Groups*, Academic Press, pp. 157–174.
- St-Gelais, D. and Tirard-Collet, P. (2002), “Fromage”, in Vignola C.L (Ed.), *Science et Technologie Du Lait : Transformation Du Lait.*, Presse Internationale Polytechnique, Montreal Canada, pp. 349–415.
- Stone, H., Sidel, J., Oliver, S., Woolsey, A. and Singleton, R.C. (2008), “Sensory evaluation by quantitative descriptive analysis”, *Descriptive Sensory Analysis in Practice*, Wiley Online Library, pp. 23–34.
- Suzzi, G., Lanorte, M.T., Galgano, F., Andrighetto, C., Lombardi, A., Lanciotti, R. and Guerzoni, M.E. (2001), “Proteolytic, lipolytic and molecular characterisation of *Yarrowia lipolytica* isolated from cheese”, *International Journal of Food Microbiology*, Vol. 69 No. 1, pp. 69–77.
- Syndicat Maroilles. (2016), “www.maroilles-infos.com”.
- Tedeschi, T., Galaverna, G., Dossena, A. and Sforza, S. (2013), “Chapter 19 - Cheeses”, in de la Guardia, M. and González, A.B.T.-C.A.C. (Eds.), *Food Protected Designation of Origin*, Vol. 60, Elsevier, pp. 479–509.
- Van den Tempel, T. and Nielsen, M.S. (2000), “Effects of atmospheric conditions, NaCl and pH on growth and interactions between moulds and yeasts related to blue cheese production”, *International Journal of Food Microbiology*, Elsevier, Vol. 57 No. 3, pp. 193–199.
- Thu, H.T.N. (2008), *Étude de La Flore Lactique Du Nem Chua, Produit Carné Fermenté Cru Traditionnel Du Sud Vietnam Et Maîtrise Du Processus de Fermentation Par Ajout de Souches Lactiques Sélectionnées Spécifiques Du Produit. These de Doctorat*, Université de Bordeaux1.

- Tormo, H. (2010), *Diversité Des Flores Microbiennes Des Laits Crus de Chèvre et Facteurs de variabilité. These de Doctorat*, Université Paul Sabatier Toulouse 3, France.
- Tornadijo, M.E., García, M.C., Fresno, J.M. and Carballo, J. (2001), "Study of Enterobacteriaceae during the manufacture and ripening of San Simón cheese", *Food Microbiology*, Vol. 18 No. 5, pp. 499–509.
- Tunick, M.H. and Van Hekken, D.L. (2010), "Rheology and texture of commercial queso fresco cheeses made from raw and pasteurized milk", *Journal of Food Quality*, Vol. 33 No. SUPPL. 1, pp. 204–215.
- Tuorila, H., Cardello, A.V. and Leshner. (1994), "Antecedents and consequences of expectations related to fat-free and regular-fat foods".
- Tuorila, H., Huotilainen, A., Lähteenmäki, L., Ollila, S., Tuomi-Nurmi, S. and Urala, N. (2008), "Comparison of affective rating scales and their relationship to variables reflecting food consumption", *Food Quality and Preference*, Vol. 19 No. 1, pp. 51–61.
- Tuorila, H., Meiselman, H., Bell, R., Cardello, A. and Johnson, W. (1994), "Role of Sensory and Cognitive Information in the Enhancement of Certainty and Linking for Novel and Familiar Foods", *Appetite*.
- Urbach, G. (1995), "Contribution of lactic acid bacteria to flavour compound formation in dairy products", *International Dairy Journal*, Vol. 5 No. 8, pp. 877–903.
- Urbaniak, B., Nowicki, P., Sikorska, D., Samborski, W. and Kokot, Z.J. (2017), "The feature selection approach for evaluation of potential rheumatoid arthritis markers using MALDI-TOF datasets", *Analytical Biochemistry*, Vol. 525, pp. 29–37.
- Valdés-Stauber, N., Scherer, S. and Seiler, H. (1997), "Identification of yeasts and coryneform bacteria from the surface microflora of brick cheeses", *International Journal of Food Microbiology*, Vol. 34 No. 2, pp. 115–129.
- Valentin, D., Chollet, S., Hervé, A. and Nestrud, M. (2016), "Projective Mapping and Sorting Tasks", *Descriptive Analysis in Sensory Evaluation*, pp. 1–19.

- Valentin, D., Chollet, S., Lelièvre, M. and Abdi, H. (2012), "Quick and dirty but still pretty good: A review of new descriptive methods in food science", *International Journal of Food Science & Technology*, Wiley Online Library, Vol. 47 No. 8, pp. 1563–1578.
- Varela, P. and Ares, G. (2012), "Sensory profiling, the blurred line between sensory and consumer science. A review of novel methods for product characterization", *Food Research International*, Elsevier, Vol. 48 No. 2, pp. 893–908.
- Varela, P. and Ares, G. (2014), *Novel Techniques in Sensory Characterization and Consumer Profiling*, CRC Press.
- van Veen, S.Q., Claas, E.C.J. and Kuijper, E.J. (2010), "High-throughput identification of bacteria and yeast by matrix-assisted laser desorption ionization-time of flight mass spectrometry in conventional medical microbiology laboratories", *Journal of Clinical Microbiology*, Am Soc Microbiol, Vol. 48 No. 3, pp. 900–907.
- Veisseyre, R. (1975), *Technologie Du Lait. Constitution, Récolte, Traitement et Transformation Du Lait.*, La Maison Rustique France.
- Verbeke, W., Scholderer, J. and Lähteenmäki, L. (2009), "Consumer appeal of nutrition and health claims in three existing product concepts", *Appetite*, Vol. 52 No. 3, pp. 684–692.
- Viallon, C., Martin, B., Verdier-Metz, I., Pradel, P., Garel, J.-P., Coulon, J.-B. and Berdagué, J.-L. (2000), "Transfer of monoterpenes and sesquiterpenes from forages into milk fat", *Lait*, Vol. 80 No. 6, pp. 635–641.
- Viljoen, B.C., Khoury, A.R. and Hattingh, A. (2003), "Seasonal diversity of yeasts associated with white-surface mould-ripened cheeses", *Food Research International*, Vol. 36 No. 3, pp. 275–283.
- Walstra, P., Dijk, H.J.M. van and Geurts, T.J. (1985), "The syneresis of curd. 1. General considerations and literature review", *Netherlands Milk Dairy J.*, 147, , Vol. 39, pp. 209–246.
- Walther, B., Schmid, A., Sieber, R. and Wehrmüller, K. (2008), "Cheese in nutrition and health",

- Dairy Science and Technology*, EDP Sciences, Vol. 88 No. 4–5, pp. 389–405.
- Weimer, B., Dias, B., Ummadi, M., Broadbent, J., Brennand, C., Jaegi, J., Johnson, M., et al. (1997), “Influence of NaCl and pH on intracellular enzymes that influence Cheddar cheese ripening”, *Le Lait*, Vol. 77 No. 3, pp. 383–398.
- Widyastuti, Y., Rohmatussolihat and Febrisiantosa, A. (2014), “The role of lactic acid bacteria in milk fermentation”, *Food and Nutrition Sciences*, Vol. 5 No. 4, pp. 435–442.
- Wilkinson, M.G. and Kilcawley, K.N. (2005), “Mechanisms of incorporation and release of enzymes into cheese during ripening”, *International Dairy Journal*, Vol. 15 No. 6–9, pp. 817–830.
- Wolfe, B.E., Button, J.E., Santarelli, M. and Dutton, R.J. (2014), “Cheese rind communities provide tractable systems for in situ and in vitro studies of microbial diversity”, *Cell*, Elsevier Inc., Vol. 158 No. 2, pp. 422–433.
- Wouters, J.T.M., Ayad, E.H.E., Hugenholtz, J. and Smit, G. (2002), “Microbes from raw milk for fermented dairy products”, *International Dairy Journal*, Vol. 12 No. 2, pp. 91–109.
- Yoon, Y., Lee, S. and Choi, K.-H. (2016), “Microbial benefits and risks of raw milk cheese”, *Food Control*, Elsevier, Vol. 63, pp. 201–215.
- Zeller-Péronnet, V., Brockmann, E., Pavlovic, M., Timke, M., Busch, U. and Huber, I. (2013), “Potential and limitations of MALDI-TOF MS for discrimination within the species *Leuconostoc mesenteroides* and *Leuconostoc pseudomesenteroides*”, *Journal Für Verbraucherschutz Und Lebensmittelsicherheit*, Springer, Vol. 8 No. 3, pp. 205–214.

Index des figures

Figure 1. La Classification des fromages selon Lenoir <i>et al.</i> 1985 montrant la diversité des technologies fromagères employées en France.	2
Figure 2. Les Fromages bénéficiant d'une appellation d'origine protégée (AOP) en France.	3
Figure 3. Aire de production du Maroilles, limitée à la région de la Thiérache.....	5
Figure 4. Une représentation par multidimensional scaling (MDS) des résultats de l'épreuve de tri d'emballages de Maroilles fermiers (vert) et industriels (rouge).	6
Figure 5. Les étapes de fabrication du Maroilles fermier et industriel.	11
Figure 6. Illustration des mécanismes moléculaires mis en jeu lors de la coagulation des caséines du lait.....	13
Figure 7. Représentation schématique du processus de coagulation.....	15
Figure 8. Représentation schématique du processus de coagulation enzymatique (présure) (Kindstedt, 2014). PCM : Phosphate de Calcium Micellaire, CMP : Casino-Macropéptide, BL : Bactérie lactique.	16
Figure 9. Arbre phylogénétique des bactéries lactiques (Schleifer <i>et al.</i> , 1995).	22
Figure 10. Les principales voies biochimiques conduisant à la production de composés aromatiques au cours de l'affinage des fromages ; adapté de Marilley <i>et al.</i> (2004) et McSweeney <i>et al.</i> (2000) . AA : acides aminés ; LPL : lipoprotéine lipase ; AG : acides gras ; #enzymes ajoutées dans le lait ; §enzymes présentes naturellement dans le lait ; *enzymes microbiennes.	28
Figure 11. Les principales étapes de l'analyse par spectrométrie de masse.	46
Figure 12. Modèle de Randall et Sanjur (1981).	54
Figure 13. Modèle de Shepherd (1985)	55
Figure 14. Le modèle de Gains (1994)	55
Figure 15. Modèle pluridisciplinaire adapté de Font-i-Furnols <i>et al.</i> (2014) des principaux facteurs affectant le choix du consommateur dans le domaine alimentaire.	56
Figure 16. Le modèle illustrant les effets des attentes sur la sélection et l'évaluation des produits (adapté de Deliza <i>et al.</i> , 1996)	58
Figure 17. Théories de non confirmation des attentes	59
Figure 18. Familiarité et connaissance du produit (Banovic <i>et al.</i> , 2012).....	62
Figure 19. Théorie du noyau central (Abric, 1987).....	64
Figure 20. Une synthèse des travaux de thèse.....	211

Index des tableaux

Tableau 1. Récapitulatif présentant les caractéristiques des différents formats de Maroilles, adapté du cahier des charges 2015	36
Tableau 2. Composition nutritionnel du Maroilles fermier et industriel (Ciqual/ CNIEL, 2017).....	37

RESUME

Aujourd'hui, les produits alimentaires sont de plus en plus industrialisés et standardisés pour répondre aux besoins de la population. En même temps, le consommateur recherche des produits authentiques de qualité. Ces critères d'authenticité et de qualité sont incarnés par des produits traditionnels, de terroir, fermiers, disposant de circuits de distribution courts. Parmi ces produits, le fromage représente un aliment de valeur dans l'histoire culinaire française. Dans ce cadre, cette thèse a porté sur l'étude d'un fromage AOP, le Maroilles. Une approche pluridisciplinaire (analyses sensorielles, physicochimiques et microbiologiques) a été menée avec comme objectif la caractérisation des Maroilles fermiers, fabriqués à base de lait cru, et industriels, fabriqués à partir de lait pasteurisé. Les analyses sensorielles ont mis en évidence que des consommateurs étaient capables de percevoir des différences entre ces deux types de Maroilles. Ces différences de perception ont pu être expliquées par les analyses physicochimiques (composition, texture, couleur) et microbiologiques. De plus, la qualité du Maroilles en termes d'appréciations hédoniques et de descriptions sensorielles peut être prédite à partir des mesures instrumentales et notamment de la composition en acides gras. Ce travail a également montré que la qualité du Maroilles, perçue par le consommateur est fortement dépendante de la familiarité que le consommateur a vis-à-vis de ce produit. Une étude consommateur, réalisée dans deux villes en France, Lille la région d'origine du Maroilles et Angers extérieure à la région de production du Maroilles, a montré que la familiarité en termes de fréquence de consommation et de connaissance du Maroilles influence l'appréciation et les attitudes du consommateur. De plus, la familiarité modifie les représentations que les consommateurs se font du Maroilles fermier. Le Maroilles est un fromage qui garde son authenticité et sa typicité par sa variabilité inter-produits qui constitue une richesse et une diversité de choix pour les consommateurs.

Mots clés : Fromage, Maroilles fermiers et industriels, analyses sensorielles, analyses microbiologiques, analyses physicochimiques, familiarité, représentations sociales.

ABSTRACT

Today, food products are increasingly industrialized and standardized for the population needs. In the same time, the consumer is looking for qualitative authentic products. These quality standards are embodied by traditional, "de terroir", craft products, with short distribution channels. Among these products, cheese is a valuable food of the French culinary history. In this context, this thesis focused on the study of an AOP cheese: the Maroilles. A multidisciplinary approach (sensory, physicochemical and microbiological analyses) was conducted with the objective of characterizing artisanal (raw milk-based) and industrial Maroilles (pasteurized milk-based). Sensory analyses revealed that consumers were able to perceive differences between these two types of Maroilles. These differences in perception could be explained by physicochemical (composition, texture, color) and microbiological analyses. In addition, the quality of Maroilles in terms of hedonic appreciations and sensory descriptions can be predicted from instrumental measurements, in particular the fatty acid composition. Concomitantly, the quality of Maroilles perceived by the consumer is strongly dependent on the consumer's familiarity with this product. A consumer study, carried out in two cities in France (Lille, the region of origin of Maroilles and Angers outside the Maroilles production region) showed that Maroilles' familiarity in terms of consumption frequency and knowledge influences the appreciation and consumer attitudes. In addition, the familiarity changes the representations that consumers make of artisanal Maroilles. Maroilles is a cheese that keeps its authenticity and its typicality by its inter-product variability, which constitutes a wealth and a variety of choices for consumers.

Key words: Cheese, artisanal and industrial Maroilles, sensory analyses, microbiological analyzes, physico-chemical analyses, familiarity, social representations.