

République Algérienne Démocratique et Populaire  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
جامعة 8 ماي 1945 قالمة  
Université 8 Mai 1945 Guelma  
كلية علوم الطبيعة و الحياة و علوم الأرض و الكون  
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et Sciences de la terre et de l'Univers



## Mémoire en vue de l'obtention du diplôme de Master

Domaine: Sciences de la Nature et de la Vie  
Spécialité/Option : Production et Technologie Laitière  
Département : Ecologie et Génie de l'Environnement  
Filière : Science Alimentaire

### Utilisation de l'analyse procrustéenne généralisée dans l'évaluation des caractéristiques sensorielles des fromages

Présenté par :

Imane Cheriet

Bouthaina Laib

Devant le jury composé de :

Mr. Mabrouk CHEMMAM (Professeur)	Président	Université de Guelma
Mr. Aissam BOUSBIA (MCA)	Encadreur	Université de Guelma
Mme. Roumaila Sabrina BENREBIHA (MAA)	Examineur	Université de Guelma

Septembre 2020

## Remerciement

*Nous remercions d'abord le bon Dieu, pour le courage qu'il nous a donné pour surmonter toutes les difficultés durant nos années d'études et de nous avoir accordée la force, la volonté et le courage pour bien mener ce travail.*

*Nous faillirons à la tradition si nous n'exprimons pas ici notre gratitude envers tous ceux qui ont collaboré de près ou de loin à l'exécution de ce mémoire.*

*Nous remercions très vivement notre encadreur **Mr BOUSBIA Aissam** Maître de Conférence à l'Université 8 Mai 1945 Guelma qui nous fait l'honneur de diriger ce travail, qu'il trouve ici l'expression de notre gratitude et de notre profond respect. Nous exprimons notre vive reconnaissance et immense gratitude pour leur aide précieuse et claire, ses relectures attentives et ses orientations.*

*Nos remerciements aussi adressés aux membres des jurys **Mr CHEMMEM Mebrook** Professeur à l'université 8 Mai 1945 qui nous fait l'honneur de présider ce jury, et à **Mme Rouaïla Sabrina BENREBIHA** Maître assistant à l'Université 8 Mai 1945 hommage respectueux.*

*Nous tenons également à remercier infiniment l'ensemble des enseignants de la faculté des sciences de la nature et de la vie et sciences de la terre et de l'univers qui nous ont appris les bases de la science, et en particulier ceux du département d'écologie et génie de l'environnement*

*Merci à vous, sans votre aide, ce travail n'aurait jamais pu être accompli.*

## ملخص

الهدف من هذه الدراسة هو معرفة كيفية إستخدام تحليل بروجوستين المعمم للحصول على هوية حسية للأجبان ويتم إستخدامه لتقليل من التباين , وعدم وجود الإجماع بين الأعضاء غير المدربين. أدت الصعوبة الكبيرة للحصول على أعضاء مدربين ( الوقت اللازم لتدريب و الميزانية العالية ) إلى إعتقاد أعضاء غير مدربين في التحليل الحسي .

التحليل الحسي هو قياس الإدراك الحسي للمنتجات في الغذاء بشكل عام بإستخدام البشر كأداة قياس توفر العديد من المصطلحات في العديد من المراجع الوصف الإدراكي للجبن، حيث تختلف الأجبان عن بعضها البعض في المظهر والملبس والنكهة. و من الطرق المستخدمة في تقييم الجودة هي التحليل الحسي التمييزي والتحليل الوصفي والمتعة.

تعتمد الجودة الحسية على عدة عوامل مرتبطة بصنع الجبن، وهي عوامل أساسية منها العوامل الوراثية والفسولوجية والتغذية، حيث تؤثر هذه العوامل على القدرة على تخثر الجبن وإنتاجه تم تطوير طرق حسية سريعة جديدة لتوفير المزيد من البيانات والمعلومات ذات الصلة للمستهلك، بما في ذلك الملف الشخصي التقليدي وملف تعريف الإختيار الحر وملف تعريف الفلاش تعتمد جودة هذه النتائج على عدد الأشخاص وقدرتهم على وصف تصوراتهم عن المنتج ويتم تحليل هذه النتائج باستخدام تحليل GPA يوفر المقارنة المثلى من حيث الترجمة والتدوير والنسخ المتطابق وتغيير الحجم والوصف المرئي للتأثيرات المختلفة.

**الكلمات المفتاحية:** الجبن ، التحليل الحسي ، تحليل البروجوستين المعمم ، جودة الجبن ، الملامح الحسية .

## Résumé

L'objectif de cette étude est de découvrir comment utiliser une analyse procustéenne généralisée pour obtenir une identité sensorielle du fromage et elle est utilisée pour réduire la variabilité et le manque de consensus parmi les membres non formés. La grande difficulté d'obtenir des membres formés (temps de formation et budget élevé) a conduit à l'adoption de membres non formés dans l'analyse sensorielle.

L'analyse sensorielle est la mesure de la perception des produits dans les aliments en général en utilisant l'homme comme outil de mesure. Plusieurs termes dans de nombreuses références fournissent la description perceptive du fromage, car les fromages diffèrent les uns des autres en apparence, en texture et en saveur. Parmi les méthodes utilisées pour évaluer la qualité figurent l'analyse sensorielle discriminative, l'analyse descriptive et l'analyse hédonique.

La qualité sensorielle dépend des plusieurs facteurs associés à la fabrication du fromage, qui sont des facteurs de base, notamment des facteurs génétiques, physiologiques et nutritionnels, car ces facteurs affectent la capacité à coaguler et à produire du fromage. De nouvelles méthodes sensorielles rapides ont été développées pour fournir des données et des informations plus pertinentes au consommateur, y compris le profil conventionnel, le profil de libre choix et le profil de flash. La qualité de ces résultats dépend du nombre de personnes et de leur capacité à décrire leurs perceptions du produit. Ces résultats sont analysés à l'aide d'une analyse GPA qui fournit la comparaison optimale en termes de translation, rotation, mise en miroir, mise à l'échelle et description visuelle des différents effets.

**Mots clés :** fromage, analyse sensorielle, analyse procustéenne généralisée, qualité de fromage, les profil sensoriel

## Summary

The aim of this study is to find out how to use generalized procrustes analysis to obtain sensory identity of cheese and it is used to reduce variability and lack of consensus among untrained members. (training time and high budget) led to the adoption of untrained members in the sensory analysis.

Sensory analysis is the measurement of the perception of products in food in general using humans as a measuring tool. Several terms in many references provide the perceptual description of cheese, as cheeses differ from each other in appearance, texture and flavor. Methods used to assess quality include discriminative sensory analysis, descriptive analysis and hedonic analysis.

Sensory quality depends on several factors associated with cheese making, which are basic factors including genetic, physiological and nutritional factors as these factors affect the ability to coagulate and produce cheese. New, rapid sensory methods have been developed to provide more relevant data and information to the consumer, including the conventional profile, the free choice profile and the flash profile. The quality of these results depends on the number of people and their ability to describe their perceptions of the product. These results are analyzed using GPA analysis which provides the optimal comparison in terms of translation, rotation, mirroring, scaling, and visual description of the different effects.

**Key words:** cheese, sensory analysis, generalized procrustean analysis, cheese quality, sensory profiles

## Liste des figures

<b>Figure 1:</b> Différenciation des caractéristiques sensorielles (flaveur et texture) de différents fromages selon la nature des fourrages.. .....	23
<b>Figure 2:</b> principales étape de profil conventionnel .....	29
<b>Figure 3:</b> Analyse de Procrustes: translation, rotation et réflexion, et mise à l'échelle isotrope.....	33
<b>Figure 4:</b> carte sensorielle des eaux après analyse procrustéenne, représentation des points consensus et des points et des points individuels.....	37

## Liste des tableaux

<b>Tableau 1:</b> Termes utilisés pour décrire l'apparence et la texture du fromage à l'aide de méthodes d'analyse descriptive.....	5
<b>Tableau 2:</b> Termes utilisés pour décrire la saveur du fromage à l'aide de méthodes d'analyse descriptive .....	8
<b>Tableau 3:</b> Études des caractères sensoriels de quelques fromages basés sur une analyse descriptive .....	9
<b>Tableau 4:</b> Effet de la race sur les caractéristiques sensorielles des fromages.....	17
<b>Tableau 5:</b> Effet de la conservation des fourrages sur les caractéristiques chimiques et sensorielles des fromages.....	22
<b>Tableau 6:</b> décompositions de la variation résiduelle après analyse procrustéenne....	36
<b>Tableau 7:</b> corrélations entre quelque descripteurs individuels et chacun des axes de la carte sensorielle.....	38

## Table des matières

ملخص .....	i
Résumé .....	ii
Summary.....	iii
Liste des figures.....	iv
Liste des tableaux .....	v
1 Analyse sensorielle des fromages .....	4
1.1 Analyse sensorielle des fromages .....	4
1.2 Définition du caractère sensoriel .....	4
1.3 Qualités sensorielles des fromages et ses préférences.....	5
1.4 Fromage et variété des caractères sensoriels .....	5
1.5 Les sens humains et les propriétés sensoriels du fromage .....	9
1.5.1 Apparence des fromages .....	9
1.5.2 Texture des fromages .....	10
1.5.3 Flaveur des fromages .....	10
1.6 Méthodes sensorielles utilisées pour évaluer la qualité des fromages ...	12
1.6.1 Notation de la qualité .....	12
1.6.2 Analyse discriminantes .....	13
1.6.3 Analyse descriptives.....	14
1.6.4 Analyses sensorielles : temps-intensité.....	14
1.6.5 Test d'acceptabilité du consommateur.....	15
2 Effets des pratiques d'élevages sur les caractéristiques sensorielles des fromages .....	16
2.1 Introduction.....	16
2.2 Effet génétique.....	16
2.2.1 Effet de la race dans les diverses espèces laitières: vaches, chèvres et les brebis .....	17
2.2.2 Effet des variants génétiques de la caséine .....	18
2.3 Effet de l'état de sanitaire et les caractéristiques physiologique.....	19
2.3.1 Etat sanitaire .....	19
2.3.2 Stage physiologique .....	19

2.4	Effet de l'alimentation .....	20
2.4.1	Effet du type de régime et méthode de conservation des fourrage	21
2.4.2	Effet de la diversité botanique des fourrages .....	22
3	Profils sensoriels.....	26
3.1	Introduction.....	26
3.2	Émergence de nouvelles méthodes sensorielles rapides .....	26
3.3	Différents profils sensoriels.....	27
3.3.1	Le profil conventionnel .....	27
3.3.2	Profil libre choix (PLC) .....	29
3.3.3	Le profil flash .....	31
4	Analyse procrustéenne généralisée .....	32
4.1	Introduction.....	32
4.2	Notions de bases relatives à l'analyse procrustéenne généralisée.....	32
4.3	Le principe de l'analyse procrustéenne généralisée (APG) .....	34
4.4	Application de l'analyse procrustéenne généralisée (APG) dans l'analyse sensorielle .....	35
4.5	Exemple pratique de l'utilisation l'analyse procrustéenne généralisée (APG) dans l'analyse sensorielle .....	35
	Conclusion.....	39

# **Introduction générale**

### Introduction générale

La fabrication du fromage par les premiers agriculteurs du Néolithique a été une avancée majeure dans la transformation des aliments, permettant de conserver le lait sous une forme non périssable et transportable, et de rendre le lait plus digestible pour les adultes car le fromage contient beaucoup moins de lactose que le lait frais (Ropars et al., 2017). Le fromage est une source importante de protéines pour le monde entier, ainsi pour le fonctionnement de l'industrie laitière (Dantas et al., 2016; Lollo et al., 2015; Pereira et al., 2016). L'industrie mondiale de la fabrication du fromage consomme environ un quart de la production mondiale de lait cru pour la fabrication des différentes variétés de fromages (Xu et al., 2009).

L'évaluation de la qualité sensorielle d'un produit alimentaire nécessite la sélection et la formation des membres du jury de dégustation. Ensuite, les descripteurs de référence doivent être déterminés et enfin, le panel est entraîné avec ces descripteurs de référence. Cependant, le profil sensoriel par libre choix «*free-choice profiling*» (FCP) qui a été développé en 1984 par (Williams et Langron, 1984). Ce profil peut être utilisé sans former les évaluateurs parce qu'ils génèrent eux-mêmes et librement les descripteurs (Aparicio et al., 2007). Différents auteurs ont rapporté avec succès cette méthodologie : dans les fromages (Drake et al., 2001; Rétiveau et al., 2005), dans les desserts lactés (Gonzalez-Tomas et Costell, 2006), dans le café (Narain et al., 2004), dans les jus de fruits (Aparicio et al., 2007), dans la viande cuites (Bryhni et al., 2002), et dans les produits frais (Kirkmeyer et Tepper, 2003). Selon Munoz et Civille (1998), les descripteurs sensoriels d'un produit sont des informations de référence retenues et partagées par les membres d'un panel sensoriel lors de la dégustation.

L'analyse sensorielle des produits alimentaires est confrontée souvent par deux inconvénients majeurs à savoir : la nécessité du développement d'un langage pertinent pour les produits évalués, et l'unanimité de ce langage entre les panélistes. Ceci est généralement réalisé après plusieurs sessions au cours desquelles les produits sont discutés, et les termes dérivés sont définis verbalement ou par l'élaboration d'une norme (Williams et Langron, 1984).

Les résultats obtenus dans une analyse sensorielle sont généralement étudiés au moyen d'une analyse en composantes principales (ACP) bien que d'autres techniques d'analyse multi-variées sont également utilisées. Dans la procédure de profil à libre choix, des outils exploratoires pour l'analyse de données à trois dimensions comme l'analyse procrustéenne généralisée (APG) (Gower, 1975) ou STATIS (Abdi et al., 2012; Lavit et al., 1994) sont

souvent appliqués. L'analyse des composantes principales sur l'ensemble de données fusionnées (PCAMDS) peut également être effectuée en suivant le schéma proposé par (Lavit et al., 1994), qui soulignent la facilité de son utilisation.

L'analyse sensorielle descriptive porte sur la caractérisation des produits en fonction de leurs attributs perçus (composantes qualitatives) et leurs intensités (composantes quantitatives) (Munoz and Civille, 1998). Une analyse sensorielle descriptive a été utilisée pour caractériser les systèmes alimentaires et non alimentaires complexes tels que la viande, la volaille et les poissons (Chambres and Robel, 1993), les boissons (Stampanoni, 1993a) et les produits laitiers (Stampanoni, 1994).

Bien que l'analyse sensorielle soit un test subjectif, les évaluations humaines sont importantes car elles permettent une mesure directe de la perception des consommateurs. Par conséquent, les tests sensoriels sur panel sont utilisés comme méthode de référence dans de nombreuses études. Mais dans certains cas, l'évaluation des résultats des tests de panel est difficile en raison des grandes variations et des différences entre les évaluations des panélistes (Tomic, 2014).

Le test sensoriel par panel est l'outil le plus efficace et le plus approprié, pour déterminer les différences entre les échantillons soumis à divers traitements lorsqu'il est évalué par des experts formés (Rodrigues et Teixeira, 2014). Le problème le plus important de l'analyse sensorielle, est la grande variabilité des évaluations du même échantillon alimentaire par différents panélistes. En particulier, la source de variabilité la plus importante est le manque de consensus dans la description d'un échantillon entre panélistes (Wu et al., 2003). L'analyse procrustéenne généralisée (APG) est une méthode statistique à plusieurs variables utilisée pour l'évaluation de l'analyse sensorielle dans l'industrie alimentaire. L'APG est bénéfique en termes de diminution des différences entre les panélistes et de la récapitulation des données obtenues de différents panélistes (Keskin et al., 2012; Rodrigues and Teixeira, 2014).

La difficulté de trouver ou de former un jury expert nous a conduit à réfléchir aux moyens avec lesquels comment on peut surmonter l'une des difficultés majeures de l'analyse sensorielle. En occurrence, celle liée à la variabilité importante, et le manque de consensus dans la description entre les panels. C'est dans ce contexte que ce travail de Master a été proposé, dont l'objectif primordial était le choix d'un ensemble de descripteurs par un groupe d'évaluateurs semi-formés, pour la caractérisation sensorielle basée sur la méthode APG, de plusieurs types de fromages traditionnel «*Klila*» fabriqués du lait de plusieurs espèces (vache, brebis et chèvre). Cependant, le protocole expérimental n'a pas été réalisé suite à la crise

sanitaire qu'ait connue le monde entier, nous étions contraints de limiter notre travail à une revue bibliographique relative à notre problématique de départ. En effet, cette revue comprend quatre chapitres : **(i)** analyse sensorielle des fromages ; **(ii)** effets des pratiques d'élevages sur les caractéristiques sensorielles des fromages ; **(iii)** différents profils sensoriels et **(iv)** analyse procrustéenne généralisée.

# Chapitre 1

## **1 Analyse sensorielle des fromages**

### **1.1 Analyse sensorielle des fromages**

Une variété remarquable de fromages sont fabriqués dans toutes les parties du monde. Les fromages sont consommés pour leur valeur nutritive très appréciée, et pour leur qualité alimentaire complexe et variée. Les caractéristiques sensorielles de fromages, qui déterminent leur qualité alimentaire, sont les propriétés perçues par les sens humains principalement pendant la consommation. Ces propriétés peuvent être décrites comme caractéristiques d'aspect, caractéristiques de saveur, et les caractéristiques de texture (Drake and Delahunty, 2017).

Une évaluation sensorielle est nécessaire pour déterminer l'influence des caractéristiques sensorielles sur la qualité du fromage et son acceptabilité par le consommateur. Cependant, la complexité du fromage présente un défi considérable pour son évaluation sensorielle. Ce chapitre se concentrera sur les perception des caractéristiques sensorielles, les avantages et les inconvénients des méthodes d'évaluation sensorielle (Drake and Delahunty, 2017).

### **1.2 Définition du caractère sensoriel**

Les caractéristiques sensorielles des fromages sont des réponses humaines aux perceptions des stimuli ressenties avec les fromages, et peuvent généralement être décrites en utilisant des termes définis dans les catégories d'apparence, de saveur et de texture. Les caractéristiques sensorielles résultent des interactions des sens humaines comme la vision, le toucher, d'olfaction, des gustation avec des stimuli induits par la rhéologie, la structure, et la composition chimique des fromages.

Les caractéristiques sensorielles sont perçues par les consommateurs lorsqu'ils observent, manipulé, sentir et prendre le fromage dans la bouche pour la consommation, et sont ensuite exprimés comme un comportement de réponse utilisant des actions ou des termes descriptifs. Une majorité des caractéristiques sensorielles sont complexes et sont stimulées par l'association de nombreuses propriétés différentes du fromage, avec différentes modalités sensorielles agissant ensemble. C'est sa complexité, qui empêche les tentatives pour représenter correctement le caractère sensoriel du fromage. De plus, les consommateurs diffèrent les uns des autres par la perception sensorielle, et en particulier leurs

communications qui diffèrent entre les individus très variés des point de vue : physiologique, psychologique, social et culturel (Drake and Delahunty, 2017).

### 1.3 Qualités sensorielles des fromages et ses préférences

La qualité sensorielle du fromage est une réponse intégrée. Les stimuli sensoriels sont les caractéristiques, perçues avant et pendant la consommation. Cependant, la réponse est influencée par plusieurs facteurs liés au consommateur qui incluent les capacités sensorielles, le passé des expériences avec le fromage, et les attentes des consommateurs (Li et al., 2015).

### 1.4 Fromage et variété des caractères sensoriels

Les caractéristiques sensorielles de différents fromages sont décrites dans la littérature et dans les livres spécialisés sur les fromages. Cependant, peu de types de fromage où les caractéristiques sensorielles ont été définies, normalisées et mesurées en utilisant les méthodes de la science sensorielle, il est difficile de comparer avec précision les recherches sur l'aspect, la texture et la saveur du fromage réalisé dans différents laboratoires. Tableaux 1 et 2 représentent les termes actuels utilisés pour décrire l'apparence, la texture et les caractéristiques de saveur de fromages définies et standardisées d'une manière objective.

**Tableau 1: Termes utilisés pour décrire l'apparence et la texture du fromage à l'aide de méthodes d'analyse descriptive**

<b>Termes</b>	<b>Definition</b>
<b>Apparence</b>	
Crayeux	Ressemblant à la craie en apparence
Couleur/intensité couleur	La couleur du Cheddar allant du jaune pâle à l'orange, le jaune le plus pâle représentant le début de la échelle; la couleur du fromage allant du blanc à l'orange
Marbrure	le fromage de couleur la plus uniforme étant libre de marbrures, marbrures ou autres défauts de couleur
Moisi	Le degré de moisissure / croissance visible de moisissure dans la structure du fromage
Overture	La mesure dans laquelle l'intérieur du fromage (c'est-à-dire la surface coupée) est ouvert; cela comprend les fissures, les trous d'épingle, les trous de forme irrégulière et toute autre ouverture
Brillant	La mesure dans laquelle la surface du fromage est brillante, par opposition à une surface mate.
<b>Texture</b>	

## Chapitre 1 : Analyse sensorielle des fromages

---

Adhésivité	Le degré auquel la masse mâchée adhère aux surfaces buccales, évalué après cinq mastications
Moelleux	Nécessitant beaucoup de mastication, texture caramel. Degré de mastication élevé pour briser le fromage
Cohésion	La mesure dans laquelle la masse mâchée tient ensemble, évaluée après cinq mastications
Crémeux	La mesure dans laquelle la texture s'est dégradée en une texture crémeuse semi-liquide évaluée entre la langue et le palais pendant la mastication; la sensation associée à une crème à fouetter épaisse (p. ex., teneur en matières grasses > 30%)
Friable	Le degré de rupture de la structure du fromage dans la bouche, évalué au cours des deux à trois premières mastications; la sensation dans la bouche lorsque l'échantillon se désagrège rapidement en bouche lors de la mastication
Croûte	La force nécessaire pour percer la croûte du fromage lors de la première bouchée évaluée à l'aide des incisives
Sec	Le degré de sécheresse ou d'humidité ressentie dans la bouche pendant la mastication
Fermeté	Allant de doux à ferme. L'étendue de la résistance offerte par le fromage évaluée au cours des cinq premières mastications à l'aide des incisives. La force nécessaire pour presser un cube (1,5 × 1,5 × 1,5 cm) de fromage plat entre le premier doigt et le pouce; la force requise pour prendre la première bouchée de fromage évaluée à l'aide des incisives; la quantité de force nécessaire pour mordre complètement à travers le fromage évaluée à l'aide des molaires
Collant à la première bouchée	Sensation collante ressentie lors de la première bouchée
Fracturabilité à la première bouchée	Mordre complètement à travers l'échantillon avec les molaires et évaluer le degré de fracture de l'échantillon
Granuleux	La mesure dans laquelle des structures granulaires sont formées lorsque l'échantillon se décompose perçu dans la seconde moitié de mastication; la sensation de grosses particules dans la bouche pendant la mastication
Dureté	La force nécessaire pour mordre l'échantillon (première bouchée)
Farineux	La sensation en bouche lorsque l'échantillon se décompose en petits morceaux et qu'il est difficile de les rassembler pour les avaler
Humide	La teneur en humidité perçue du fromage. Allant de sec à humide. La mesure dans laquelle le fromage a

## Chapitre 1 : Analyse sensorielle des fromages

---

	une texture humide ou humide autour du palais lors de la mastication
Revêtement de la bouche	La mesure dans laquelle le fromage recouvre le palais et les dents pendant la mastication; le degré de revêtement sur le langue et palais lors de la mastication
Huileux	Bouche grasse, de toute nature
Taux de récupération	Appuyez sur l'échantillon de 30%, entre le pouce et l'index évaluez la vitesse ou la vitesse à laquelle l'échantillon revient à sa forme originale
Sensation résiduelle en bouche	Le degré de sensation dans la bouche juste avant d'avaler
Caoutchouteux	La mesure dans laquelle le fromage revient à son état initial après avoir été mordu, évalué au cours des deux à trois premiers mâche; le degré d'élasticité ressenti lors de la morsure de l'échantillon
Visqueux	De la nature de la substance visqueuse, molle, glutineuse ou visqueuse, molle, humide et collante. La sensation en bouche associée à la consommation de liquides très visqueux comme la crème à fouetter épaisse ou le miel
Onctueux / onctuosité	Onctuosité du fromage contre le palais lors de sa rupture lors de la mastication; le degré auquel la surface de la masse mâchée est lisse évaluée après cinq mastications
Douceur	Facile à la pression, facilement moulé, pliable, facilement étalable
Souplesse	Appuyez sur 30% de l'échantillon entre le pouce et l'index évaluez la quantité totale de récupération de l'échantillon
Collant	Le caractère collant du fromage contre le palais et autour des dents lors de la mastication; sensation générale de collant pendant la mastication

Les termes de cette liste ont été élaborés et définis par des jurys formés et, dans de nombreux cas, des documents standards qui aident à illustrer ces termes. Les fromages étudiés étaient des Suisses, Cheddar et Gouda faibles en gras, gras et fumés (Adhikari et al., 2003; Rogers et al., 2009; Yates and Drake, 2007) naturels et fromages fondus (Drake et al., 2002), 10 types de fromages différents (Lawlor and Delahunty, 2000), Cheddar et Camembert (Cooper, 1987) et les fromages Mozzarella (Brown et al., 2003).

**Tableau 2: Termes utilisés pour décrire la saveur du fromage à l'aide de méthodes d'analyse descriptive**

Terme	Definition	Standard
<b>Acide /yogourt</b>	Le goût sur la langue associé aux acides (citrique, lactique,...); un goût aigre, acidulé, piquant, semblable aux agrumes. Les sensations gustatives fondamentales dont les acides lactique et citrique sont typiques	0,35-0,86 g d'acide lactique / 100 g de ricotta
<b>Age</b>	Saveurs indiquant l'âge dans le fromage cheddar	Fromage cheddar vieilli (1 an ou plus)
<b>Alcool</b>	Aromatique de type chimique associé aux spiritueux distillés ou produits céréaliers	-
<b>Ammoniac</b>	-	Solution d'ammoniaque (0,25% dans l'eau)
<b>Animal</b>	La combinaison d'aromatiques rappelant les fermes des animaux et basse-cour	Acide 4-méthyl-octanoïque (2% dans PG <sup>1</sup> ); 1-phényl-2-thiourée (5000 mg kg <sup>-1</sup> dans PG)
<b>Cendré</b>	Aromates persistants semblables à l'écorce associés au feu de camp	-
<b>Astringent</b>	Le complexe de sensations de séchage, de plissement, de rétrécissement dans la cavité buccale provoquant une contraction des tissus corporels; une sensation de sécheresse buccale et une sensation dure.	Alun (0,1% dans l'eau) Thé, six sachets trempés dans l'eau pendant 3 h; acide tannique (0,05% dans l'eau)
<b>Équilibrée</b>	Doux, lisse, propre, en équilibre, bien agencé ou disposé, sans composant manquant ou en excès	Cheddar doux
<b>Poivron</b>	Arôme associé aux poivrons verts fraîchement coupés	Méthoxy pyrazines (5 µg kg <sup>-1</sup> ); poivron fraîchement coupé
<b>Amer</b>	Sensation gustative fondamentale dont caféine ou quinine sont typiques; un goût de type chimique	Caféine (0,02, 0,06 ou 0,08% dans l'eau); l'eau tonique, quinine (0,01% dans l'eau)
<b>Bleu</b>	-	Octane 2-one (1% PG)
<b>Lait cuit</b>	Aromates associés au lait cuit; la combinaison de notes aromatiques sucrées et brunes associées avec du lait chauffé	

<sup>1</sup> : Propylène glycol

Le tableau 3 présente les termes utilisés pour l'analyse sensorielle descriptive par d'autres chercheurs, mais qui ne sont pas définis et normalisés d'une manière adéquate. De plus, dans de nombreux cas, ces termes ont été utilisés pour décrire les caractéristiques dominantes de différents types de fromages. Il est possible de développer et de normaliser une terminologie qui peut être utilisée universellement, et pour tous les types de fromages, conduisant éventuellement à une meilleure compréhension de la qualité gustative du fromage.

**Tableau 3: Études des caractères sensoriels de quelques fromages basés sur une analyse descriptive**

Références et fromages étudiés	Vocabulaire descriptive
faible en gras, gras et suisse fumé, cheddar et gouda (Adhikari et al., 2003)	Arôme: fumé, vinaigré, cheddar, beurré, moisi, piquant, autre (suisse); saveur: fumé, salé, sucré, amer, acide, cheddar, vif, intensité de la saveur; texture: granuleuse, dureté, collant de première bouchée, collant, crémeux, enduit buccal, visqueux, caoutchouteux, sec, friable, farineux
(Antoniou et al., 2000): Mûnster, Emmental, Roquefort, Beaufort, Camembert, Reblochon, Pont l'Évêque, Brie de Meaux, Tomme de Savoie, Valençay, Saint Nectaire, Pyrénées Brebis, Bleu d'Auvergne, Comte Vieux, Fourme de Salers	Texture: Dureté, élasticité, fracturabilité, cohésion, adhésivité, mastication
(Hort and Le Grys, 2001): Cheddar	Texture: onctuosité, émiettement, fermeté, dureté, élasticité, grain
(Rétiveau et al., 2005): fromages français	Saveur: Beurre, matière grasse laitière, lactée aigre, laitière sucrée, lait cuit, moisi / terreux, moisi, moisi / sec, animal, butyrique, caprin, en sueur, vieilli, fermenté, fermenté / fruité, choucroute, cendrée / suie, grain, noisette, chimique, verte / herbacée, fruitée, florale, astringence, piquant, pointu, mordant, amer, salé, sucré, aigre

## 1.5 Les sens humains et les propriétés sensoriels du fromage

### 1.5.1 Apparence des fromages

Les humains sont des créatures hautement visuelles et permettent à la vision une dominance des autres modalités sensorielles. La vision est la perception de forme, de la texture, la taille, la luminosité, la couleur, et le mouvement. Les caractéristiques d'apparence

du fromage sont évaluées visuellement, généralement avant de consommer le fromage, ou lors de la préparation du fromage pour la consommation par découpe ou diffusion. Les caractéristiques d'apparence comprennent la couleur, la présence ou absence des trous (ou ouverture), moisissure, écorce, et texture visuelle (tableau 1 et 3). De plus, l'apparence comprend l'image d'un fromage au marché (par exemple, taille, forme, emballage), car la plupart des fromages sont achetés sous cette forme (Murray and Delahunty, 2000). Les caractéristiques d'apparence créent les attentes sensorielles ou les attentes quant à la façon dont le fromage «Goût», et comme la vision peut dominer d'autres modalités sensorielles, les aspects visuels du fromage peuvent souvent avoir une forte influence sur la perception d'autres caractéristiques que l'expérience générale nous a appris que nous sommes liés (même s'ils ne sont pas en relation). Par exemple, de nombreux consommateurs croient qu'un fromage coloré est plus intensément aromatisé que son équivalent non coloré (Bogue et al., 1999). Wadhvani and McMahon (2012) ont démontré que la couleur orange plus foncée et l'aspect translucide de cheddar faible en gras a eu un impact négatif sur l'acceptation des consommateurs

### 1.5.2 Texture des fromages

La texture peut être définie comme l'attribut d'un fromage qui résulte d'une combinaison de propriétés physiques, y compris la taille, la forme, le nombre, la nature des éléments structurels, perçus par une combinaison des sens du toucher (texture tactile), la vision (texture visuelle), et audition (texture auditive). Par exemple, la «douceur» d'un fromage à la crème peut être évaluée visuellement lors de la coupe du fromage, par des sensations proprioceptives lors de l'étalement du fromage, et enfin par des sensations tactiles en bouche pendant la consommation. Pendant la mastication et la consommation, la perception de la texture se produit dans les structures superficielles de la bouche, autour des racines des dents et dans les muscles et les tendons. Les caractéristiques de texture du fromage fréquemment décrites comprennent le fermeté, caoutchoutisme, émiettement, cohésion, et adhésivité (tableaux 1 et 3) (Foegeding et al., 2011)

### 1.5.3 Flaveur des fromages

La saveur est le plus souvent définie comme la perception intégrée de stimuli olfactifs, gustatifs et le nerf trijumeau. La perception de la saveur commence avant la consommation lorsqu'un consommateur peut sentir un fromage, mais est finalement perçu pendant la consommation lorsque les composés qui stimulent le système olfactif dans le nez, le système

gustatif dans la bouche et le système trijumeau dans la bouche et le nez sont libérés du fromage et deviennent disponibles pour les récepteurs.

Un grand nombre des caractéristiques de saveur ont été décrites dans le fromage. Certaines ont été définies et normalisées pour une application dans les évaluations sensorielles descriptives qui sont présentées dans le tableau 2. L'odeur ou l'arôme est généralement le premier aspect de la saveur rencontrée par un consommateur.

Les stimuli de l'odorat sont des composés aéroportés sous forme de substances volatiles qui leur permettent de voyager de leur source aux récepteurs olfactifs, où des perceptions sont créées qui sont dotées des odeurs. Des stimuli volatils sont libérés du fromage dans l'air, et peut être administré orthonasale au nez. Des composés volatils peuvent également être libérés dans l'air de la cavité buccale pendant la consommation, où ils sont livrés via la voie rétro nasale au nez sans aucun effort conscient. Beaucoup de composés volatils différents, chacun avec un caractère aromatique, ont été identifiés dans le fromage, et ceux-ci apportent la plus grande contribution à la diversité des saveurs de fromage. Les composés identifiés dans les fromages comprennent acides gras, esters méthyliques, éthyliques, méthylcétones, hydrocarbures aliphatiques et aromatiques, à chaîne courte et longue, alcools aromatiques, aldéhydes, amines, amides, phénols et composés soufrés (Maarse and Visscher, 1989).

Une grande partie de ce que nous appelons communément le «goût» est une détection d'arôme incorrectement localisé. La contribution significative de l'arôme à la saveur peut être facilement démontrée si l'on se pince le nez en mangeant, bloquant efficacement la circulation de l'air à travers les voies nasales. Ensuite, un fromage familier, par exemple le cheddar, ne sera pas reconnu et peut facilement être confondu avec un fromage qui serait autrement facilement distingué, par exemple, le gruyère.

Le goût est un autre aspect de la saveur. La dégustation a lieu principalement dans la cavité buccale, non seulement sur la langue, mais aussi sur le palais mou. Les principaux stimuli du goût sont des composés non volatils, et ceux-ci doivent entrer en contact avec les récepteurs du goût. Ce contact crée des perceptions qui donnent quatre qualités gustatives distinctives, appelées sucrées, salées, aigres, et amer. Un cinquième goût, «umami<sup>2</sup>», a été plus accepté récemment, en particulier au Japon et dans d'autres cultures où il est plus habitué et facilement perçu. Les composés qui contribuent directement au goût du fromage comprennent l'acide lactique (acide), chlorure de sodium (salé), sels minéraux de potassium,

---

<sup>2</sup> : traduit littéralement par "goût délicieux". L'umami est la cinquième saveur détectée par la langue, après le salé, le sucré, l'acide et l'amer. L'umami correspond au goût du mono-glutamate de sodium. En japonais, le terme umami signifie « délicieux, savoureux ». La saveur umami est un goût plaisant, proche du sucré.

calcium et magnésium (salé), et acides aminés et peptides libres de différents types (doux, amer, umami) (Drake et al., 2007; Engel et al., 2000; Warmke et al., 1996).

Le dernier aspect de la saveur est la chimesthésie. Ce terme est utilisé pour décrire le système sensoriel responsable de la détection d'irritation chimique. La détection est plus générale que celle du goût et de l'odorat, et se produit principalement dans les yeux, le nez, et la bouche. La perception est étroitement liée à la somatosensorielle, les caractéristiques de la douleur et du changement de température provoquent une forte réponse comportementale. Le pétilllement du carbone le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>), la sensation rafraîchissante du menthol et le sensation de brûlure de piment sont peut-être les meilleurs exemples de la façon dont l'irritation chimique peut donner un caractère supplémentaire cela est très recherché dans une large gamme de produits alimentaires. En ce qui concerne le fromage, le piquant, les picotements / morsures et l'acuité du cheddar mûr sont des exemples des irritation chimique (tableau 2).

### 1.6 Méthodes sensorielles utilisées pour évaluer la qualité des fromages

De nombreuses études rapportées sur la fabrication du fromage, la composition du fromage, et la microbiologie du fromage avait pour objectif de contrôler ou d'améliorer les caractéristiques sensorielles telles que l'apparence, la saveur et la texture. Cependant, il est difficile de comparer le succès de ces études comme caractère sensoriel final.

#### 1.6.1 Notation de la qualité

La fabrication de fromage de qualité gustative constante est extrêmement difficile en raison du nombre de facteurs de production qui contribuent en fin de compte à la qualité alimentaire. De plus, les fromages sont sensibles à un grand nombre de défauts pouvant provenir du lait et du stockage, résultent d'une contamination microbienne, où se développes pendant la maturation si les bonnes conditions ne sont pas bien contrôlées.

Cependant, pour maintenir la confiance du consommateur, c'est très important de contrôler sa qualité. De plus, en tant que consommateurs sont de plus en plus conscients de leur marque, ils acceptent moins des variations des caractéristiques sensorielles qui traditionnellement ne seraient pas considérées comme un défaut et s'attendent à trouver un fromage d'apparence, de saveur et de texture presque identiques dans l'emballage à chaque fois. tester d'une manière instrumentale toutes les possibilités qui affectent la saveur et des propriétés structurelles qui contribuent à réduire la qualité serait une tâche extrêmement laborieuse et pourrait pas réussir. Par exemple, de nombreux composés qui contribuent à la

saveur sont présents à des concentrations inférieures à la limite de détection des instruments les plus sophistiqués.

La notation de la qualité, notation ou évaluation par rapport aux défauts sur des tableaux de bord standardisés (Bodyfelt et al., 1988). Cette notation est une forme traditionnelle et encore la plus largement utilisée d'évaluation sensorielle dans l'industrie fromagère. Le classement du fromage est réalisé pour classer le potentiel d'un fromage à développer un caractère satisfaisant pendant la maturation, et pour maintenir qualité au point de vente. Normes de classement en général est spécifique à un système de notation, où la meilleure note est attribuée au score maximum, et les points sont attribués lorsque les défauts sont constatés. Par exemple, l'IDF fournit des tableaux de bord standards pour le fromage selon une échelle allant de 5 représentant la plus haute qualité possible à 0, représentant la qualité la plus basse possible (IDF, 1997).

### 1.6.2 Analyse discriminante

Les tests de discrimination sensorielle diffèrent des tests de notation de qualité, où ils impliquent des comparaisons directes de fromages pour déterminer s'il existe une différence globale entre eux, ou s'ils diffèrent pour un caractère. Les tests discriminants les plus utilisés sont les tests qui incluent la comparaison par paires (ISO, 1983a), Duo-Trio (ISO, 1991), Triangle (ISO, 1983b) et tests de classement (ISO, 1988). Dans le test de comparaison par paires, deux fromages sont présentés pour comparaison les uns avec les autres et les évaluateurs on leur demande si elles diffèrent; généralement, une différence pour une caractéristique sensorielle spécifique est testée. Dans le test Duo-Trio, les évaluateurs doivent savoir lequel des deux produits est le plus similaire à un troisième produit de référence, permettant à utiliser une référence. Ce test a des avantages pour le contrôle de la qualité, même si ce n'est pas possible pour maintenir une référence de fromage cohérente au fil du temps. Dans le test Triangulaire, les évaluateurs reçoivent trois fromages et demandé de choisir lequel est le plus différent des deux autres. Dans le test de classement, quatre à six fromages sont généralement présentés pour la comparaison d'un seul attribut désigné, et l'évaluateur est invité à les classer par ordre croissant selon l'intensité de l'attribut en question. Dans les meilleures pratiques, les évaluateurs sont obligés de faire un choix à chaque fois pour toute discrimination, éliminant ainsi le biais de réponse. Que ce soit l'existence ou l'absence d'une différence, cela est déterminé statistiquement, en fonction du nombre choix du panel d'évaluateurs pour chaque fromage, les tests discriminants utilisent des tables binomiales ou des tests  $\chi^2$ . Par conséquent, la discrimination sont les plus objectifs

et plus sensible. Un avantage supplémentaire de ces tests est qu'ils n'exigent pas d'évaluateurs bien formés. La seule exigence est que les évaluateurs sont raisonnablement sensibles et comprendre l'attribut désigné de manière courante. Par rapport aux méthodes traditionnelles d'évaluation de la qualité, ces procédures de discrimination sont bien mieux adaptées et plus pratiques (Drake and Delahunty, 2017).

### 1.6.3 Analyse descriptive

Une majorité de scientifiques qui étudient le fromage sont intéressés pour comprendre les raisons fondamentales qui diffère la qualité sensorielle d'un fromage à l'autre. L'analyse sensorielle descriptive fait référence à une collection de techniques qui ne cherchent pas seulement à discriminer entre les caractéristiques sensorielles d'une gamme de fromages, mais aussi pour déterminer une description quantitative de toutes les différences sensorielles pouvant être identifiées. Les analyses sensorielles les plus utilisées sont : le profil de saveur (Cairncross and Sjöstrum, 1950), méthode du profil de texture (Brandt et al., 1963), l'analyse quantitative descriptive (AQD) (Stone et al., 2008), la méthode Spectrum (Meilgaard et al., 2006), profil quantitatif des saveurs (Stampanoni, 1993c) et profilage libre (Langron, 1983)

Que ce soit pour un panel externe ou interne, l'entraînement des sujets est une étape indispensable pour réussir l'analyse descriptive quantitative. Il convient que le vocabulaire bien choisi qui puisse couvrir tout l'univers produit et soit compris de tous. Pour cela il est souhaitable de bien familiariser les sujets par des références qualifiant les différents descripteurs d'intérêt. Il est souhaitable de les familiariser vis-à-vis des différents types d'échelles utilisées. Lors de l'entraînement des sujets, la notion de performance est prise en compte par l'expérimentateur afin de contrôler la discrimination des produits par le panel, la répétabilité de ce dernier ainsi que l'accord entre les juges (Pineau, 2006).

### 1.6.4 Analyses sensorielles : temps-intensité

Les méthodes sensorielles évoquées précédemment ne tiennent pas compte la dynamique de la libération de la saveur des fromages qui se produit pendant la consommation. Ils ne rendent pas en compte les modifications de la texture du fromage, qui se produisent progressivement pendant la mastication et la dégradation d'un fromage en bouche. Quand en utilisant des procédures sensorielles conventionnelles, en particulier les analyses descriptives, qui nécessitent un temps moyen pour arriver à une valeur d'intensité unique. Cela perd beaucoup des informations telles que la vitesse d'apparition de la stimulation, l'heure et durée de l'intensité maximale, taux de décroissance de l'intensité de la perception, temps

d'extinction et durée totale de l'ensemble du processus (Lee and Pangborn, 1986). Pour déterminer les changements de caractère sensoriel qui se produisent pendant la consommation de fromage (qui peut prendre jusqu'à 30 seconde pour un morceau «bouchée»). Ces changements peuvent être mesurés à l'aide de méthodologie intensité-temps (Lee and Pangborn, 1986), ou dans le cas de la texture, en utilisant un profilage progressif (Brown et al., 2003).

Les méthodes temps-intensité sont utiles pour l'étude de nouveaux types de fromages, tels que les fromages faibles en gras, car la réduction de la teneur en matières grasses influence non seulement le développement du caractère sensoriel, mais aussi la rupture du fromage dans la bouche pendant la consommation et le taux de libération de composés qui contribuent à la saveur. Par exemple, dans une étude sur la saveur du fromage cheddar, le temps nécessaire pour atteindre intensité maximale pour «netteté», «amertume» et «astringence» était systématiquement plus longue Cheddar entier (Shamil et al., 1991).

### 1.6.5 Test d'acceptabilité du consommateur

Les panels sensoriels formés ne doivent pas être invités à exprimer une préférence car leurs connaissances spécialisées introduiront des préjugés. Pour déterminer la qualité gustative du fromage, un consommateur naïf ou des évaluateurs subjectifs sont utilisés, ces évaluateurs seront des consommateurs réguliers du type de produit, les consommateurs apportent leur expérience subjective à ce test, bien que leurs préférences seront basées sur les caractéristiques sensorielles testés, ils feront référence à l'expérience alimentaire passée. De plus, lorsqu'on considère que le marché cible peut être des enfants, des consommateurs âgés, des consommateurs d'un autre pays, ou des consommateurs d'une culture pratiquement inconnue, il devient alors clair que l'expertise interne en une entreprise ou une organisation ne peut espérer prédire l'acceptabilité adéquate. Les tests d'acceptabilité des consommateurs font utilisation d'échelles d'évaluation qui mesurent l'aversion et le goût relatif (par exemple, l'échelle hédonique à neuf points (Peryam, 1952), des tests de discrimination basés sur la préférence (par exemple, préférence jumelée, préférence classée).

# **Chapitre 2**

## **2 Effets des pratiques d'élevages sur les caractéristiques sensorielles des fromages**

### **2.1 Introduction**

Ce chapitre fait le point sur les connaissances acquises au cours des plusieurs années sur les relations entre les facteurs de conduite des animaux (génétiques, physiologiques et alimentaires) et la qualité sensorielle des fromages, où la qualité sensorielle du fromage dépend un certain nombre de facteurs liés à la fois à la technologie fromagère et les caractéristiques chimiques et microbiologiques de la matière première utilisée. Ces caractéristiques sont eux-mêmes dépendants de facteurs en amont (génétiques, physiologiques ou diététique...). sont de plus en plus au centre des préoccupations des consommateurs, en particulier ceux liés à l'alimentation des animaux. Ils prennent une importance particulière dans le cas de produits labellisés (appellation d'origine protégée, AOP) et (indication géographique protégée, IGP) et les notions relatives au produits de terroir (Grappin and Coulon, 1996).

### **2.2 Effet génétique**

Un certain nombre d'études ont évalué l'effet des caractéristiques génétiques animales (polymorphisme des races et des lactoprotéines) sur l'aptitude du lait à la fabrication du fromage (propriétés de coagulation et performances fromagères). Les vaches Normande ou Montbéliarde sont connues par une production plus élevée en protéines dans le lait. En effet, le lait de ces races est mieux adapté à la fabrication du fromage que la race Holstein gérée dans des conditions similaires (Macheboeuf et al., 1993). le caillé obtenu est plus ferme et le rendement en fromage est plus élevé (Froc et al., 1988). La majeure partie de cet effet peut être liée aux différences de la teneur en caséine entre les races et au polymorphisme génétique de la caséine, et en particulier à la fréquence de la  $\kappa$ -caséine (caséines  $\alpha S1$ ,  $\alpha S2$ ,  $\beta$ ,  $\kappa$ ). Il a en effet été établi que ces variantes, dont la fréquence varie grandement entre les races, influencent certaines propriétés fromagères du lait (Froc et al., 1988; Grosclaude, 1988). En revanche, quelques études ont montré les effets de facteurs génétiques sur les caractéristiques sensorielles de fromages (Tableau 4).

Tableau 4: Effet de la race sur les caractéristiques sensorielles des fromages

Essai	1		2		3	
Race <sup>1</sup>	HO	MO	HO	MO	HO	MO
<b>Lait</b>						
TB (g/l)	37,0**	34,0	35,7	35,9	35,8	35,9
TP(g/l)	29,4**	31,7	34,0	33,9	33,4	33,7
<b>Fromage</b>						
MS (%)	52,6*	54,8	55,3	55,0	54,6	54,7
TB (%)	53,8**	50,9	51,7	51,6	52,7	52,9
IN	28,9**	27,3	21,7	21,4	31,4	30,4
TF	3,0**	3,6	5,1	4,9	5,2	4,0
TFO	5,2**	4,5	3,2	3,7	3,0	4,3
IG	5,0	5,0	5,0	5,0	5,1	5,6
IO	4,5	4,8	4,8	4,1	5,2	5,3

<sup>1</sup>HO : Holstein ; MO : montbéliarde ; MS : matière sèche ; TB : taux butyreux ; TP : taux protéique IN : indice de jaune, TF : texture ferme ; TFO : texture fondante ; IG : intensité de goût ; IO : intensité d'odeur, P < 0.05; \*\* P < 0.01. (ce tableau a été synthétisé par (Coulon et al., 2004) à partir des données de : (Martin et al., 2000; Verdier-Metz et al., 1998; Verdier et al., 1995)

### 2.2.1 Effet de la race dans les diverses espèces laitières: vaches, chèvres et les brebis

Les quelques études menées sur l'effet de la race sur les caractéristiques sensorielles de fromages ont été principalement lancés suite à plusieurs questions soulevées par les filières fromagères et surtout les fromages fabriqués localement qui ont une spécificité unique. Les premières études en Auvergne n'ont révélé aucunes différences sensorielles significatives entre Fromages Saint-Nectaire au lait de vaches Holstein ou Montbéliarde (Verdier et al., 1995), sauf la couleur, qui était plus jaune avec le lait Holstein. Néanmoins, cette étude a présenté très peu de descripteurs sensoriels (Tableau 4). Dans le premier essai, le fromage était fait de lait non écrémé (Martin et al., 2000), alors que dans les deux autres essais, le lait a été normalisé par écrémage partiel avant le traitement (Verdier-Metz et al., 1998; Verdier et al., 1995). Des différences très marqués de texture ont été notées dans le premier essai: fromages fabriqués à base du lait issu des vaches Holstein, où le fromage était moins ferme et

plus fondant que celui au lait de Montbéliarde car la teneur en matière grasse est plus élevée en raison de un rapport graisses / protéines plus élevé chez les vaches. Ces différences n'ont pas été trouvées dans les deux autres essais où le rapport matière grasse / protéine du lait a été normalisé avant traitement. Au contraire, dans le troisième essai, les fromages au lait Holstein étaient plus fermes, moins fondants et plus granuleux que ceux à base de lait de vache Montbéliarde, quel que soit du type de régime (Verdier-Metz et al., 1998; Verdier et al., 1995). Dans les trois essais, les fromages fabriqués avec du lait de vaches Holstein étaient plus jaunes que les autres. Chez les caprins, les Norvégiens ont été les premiers à démontrer que les saveurs de fromage «chèvre» recherchée par les consommateurs de fromages d'Europe du Nord était due à une caractéristique héréditaire des populations caprines (Bakke et al., 1977; Ronningen, 1965). En effet, plusieurs études ont confirmé que les fromages fabriqués avec le lait des chèvres norvégiennes avaient un goût «de chèvre» plus fort que ceux à base de lait de chèvre Saanen (Auldist et al., 2002; Bakkene, 1985; Skjevdal, 1979)

Selon Coulon et al. (2004) jusqu'à l'année 2004, aucune étude n'a été menée spécifiquement sur l'influence de la race sur les caractéristiques sensorielles de fromages. Une étude a été menée en Grèce, qui s'intéresse sur l'effet du lait des vaches, chèvres et brebis sur la qualité sensorielle du fromage à pâte dure (Kondyli and Katsiari, 2001). Ces auteurs ont montré que l'espèce a influencé la lipolyse (très élevée dans le lait des vaches) et la composition en matières grasses, où le fromage issu du lait des brebis contient plus d'acide acétique, alors que les fromages au lait de vache contiennent plus d'acide butyrique et des acides gras à chaîne moyenne et longue. Gonzalez Vinas et al. (1999) ont étudié les caractéristiques physico-chimique et sensoriel de certains fromages à pâte dure produits dans diverses régions d'Espagne avec du lait de différentes races de brebis. Les résultats obtenus ne montrent aucune différence significative dans la composition physico-chimique des fromages. Les caractéristiques sensorielles des fromages étaient liées à leur composition chimique, mais pas à la race animale.

### **2.2.2 Effet des variants génétiques de la caséine**

Les effets bénéfiques de variant B de  $\kappa$  et les  $\beta$ -caséines sur les propriétés rhéologiques de lait coagulé et le rendement en fromage ont été mis en évidence dans de nombreuses études (Delacroix-Buchet et al., 1993; Grandison and Ford, 1986; Macheboeuf et al., 1993). Le variant B réduit la coagulation et le raffermissement du caillé, et conduit à un caillé de présure plus ferme que le variant A. Ces propriétés sont reflétées par la meilleure aptitude à la

fabrication du fromage issu du lait contenant le variant B, avec une meilleure rétention de matière grasse dans le réseau caséine, d'où un meilleur rendement en fromage avec le même niveau de matière utile (protéines et graisses) du lait transformé.

### **2.3 Effet de l'état sanitaire et les caractéristiques physiologique**

#### **2.3.1 Etat sanitaire**

Les mammites est une réaction inflammatoire des tissus mammaires suite à une infection. C'est le problème de santé le plus fréquent observé dans les troupeaux laitiers. Outre son impact possible sur la qualité microbiologique du lait, liée au transfert de germes infectieux dans le lait (dont certains, comme *Streptococcus agalactiae*, *Staphylococcus aureus* et *Escherichia coli* peuvent être pathogènes pour l'homme) les mammites induisent des changements majeurs dans la composition chimique du lait. Généralement, les mammites induisent une diminution de la concentration du lactose dans le lait, ainsi une altération des membranes des globules grass favorisant une lipolyse, une réduction de la teneur en caséine, une augmentation de la concentration des enzymes solubles comme la plasmine et une modification du bilan du sel (Coulona et al., 2002; Munro et al., 1984). Ces effets des mammites sur la composition du lait résultent d'un dysfonctionnement de la glande mammaire qui est de la production du lait. L'inflammation des tissu mammaire est également caractérisée par un afflux de globules blancs dans la glande mammaire, responsable d'une augmentation dramatique du nombre de cellules somatiques (SCC) dans le lait. Les cellules somatiques possèdent également un activateur enzymatique complexe et une activité plasminogène (Zachos et al., 1992). Les effets des mammites sur la coagulation et le drainage du lactosérum ainsi que sur le rendement en fromage ont été décrits en détail par plusieurs auteurs, dans le lait de vache (Auldrist et al., 1996; Barbano et al., 1991; Munro et al., 1984), de chèvre (Galina et al., 1996) et de brebis (Pirisi et al., 1996; Pirisi et al., 2000). Les laits avec un SCC élevé coagulent lentement et s'égouttent mal. Concernant les caractéristiques sensorielles des fromages, les premiers résultats résumés par Munro et al. (1984) soulignent que les laits à haut SCC sont souvent associés à une appréciation globale plus faible et à des défauts de texture et / ou d'arôme d'importance variable selon le type de fromage.

#### **2.3.2 Stage physiologique**

Le stade physiologique des animaux est un facteur important dans la variation de la composition chimique du lait comme la teneur en matière grasses, protéiques, sels minéraux

et la concentration des enzymes comme la plasmine (Coulon et al., 1991; Dupont et al., 1998). Ces variations induisent des modifications importantes dans la coagulation et les performances de fabrication du fromage (Martin and Coulon, 1995). Dans les zones où la production est très saisonnière, les fromages produits du lait des animaux en fin de lactation sont généralement plus humide, avec une protéolyse plus rapide, ainsi une texture plus douce et moins élastique, avec des défauts de goût (Martin and Coulon, 1995; O'Keeffe, 1984). Cependant, dans ces études, les effets attribués au stade de lactation ont été combinés avec ceux de la saison, de l'alimentation et de la teneur en cellules somatiques qui sont généralement plus élevées à la fin de lactation.

### **2.4 Effet de l'alimentation**

D'après Coulon et al. (2004), les études sur l'effet de l'alimentation animale sur la qualité des produits laitiers ont principalement porté sur l'influence de l'apport en nutriments des principaux types d'aliments sur les concentrations des composants du lait (protéines et graisses) (Coulon and Rémond, 1991; Sutton, 1989). Ces variations peuvent être très importantes pour les performances de fabrication du fromage (Verdier-Metz et al., 1998) et également sur certaines caractéristiques sensorielles, en particulier la texture (Delacroix-Buchet et al., 1993). Outre, l'effet bien connu de certaines plantes comme (chou, ail et oignon) sur le lait de la saveur du fromage (Forss, 1993; Urbach, 1990). Les effets du mode de conservation et la diversité botanique de plusieurs aliments sur la qualité sensorielle des fromages ont été également étudiés (Urbach, 1990). Les caractéristiques sensorielles de certains fromages sont influencées par le type de fourrage donné aux animaux. Ces effets ont été vérifiés par des études globales visant à analyser la diversité des caractéristiques sensorielles d'un type de fromage donné et à mettre en parallèle cette diversité avec les conditions dans lesquelles le lait et les fromages étaient produits. Martin and Coulon (1995) ont constaté une grande variation de la qualité sensorielle des fromages fabriqués du lait provient des foins ou de pâturage. De même, Monnet et al. (2000) ont trouvé des preuves d'associations entre la typologie floristique des pâturages et la typologie sensorielle des fromages. Bérodiér (1997) a montré que la diversité botanique pouvait être associée à des arômes fromagers plus diversifiés et plus nombreux. À l'échelle des usines, des différences de propriétés sensorielles ont été également constatées entre les fromages à base de lait de mélange provenant de différents groupes d'exploitations, différant par leur système de gestion de troupeau (Agabriel et al., 2004)

### **2.4.1 Effet du type de régime et méthode de conservation des fourrage**

L'effet de l'utilisation de l'ensilage de maïs dans l'alimentation a été testé dans des études comparant des fromages obtenus avec du lait de vaches nourries exclusivement avec de l'ensilage de maïs ou avec des rations à base d'herbe données sous forme de foin (Verdier et al., 1995) ou d'ensilage (Durand et al., 2002). Le maïs a conduit à des fromages plus blancs, légèrement plus fermes et noté globalement plus bas par les dégustateurs, par rapport à l'herbe, quel que soit son mode de conservation (foin/vert). Toso and Stefanon (2001) ont confirmé ces résultats expérimentaux en comparant les fromages fabriqués avec du lait de fermes avec deux mode de rationnement différents (avec et sans ensilage). Ils ont montré qu'après deux mois d'affinage, les fromages des exploitations sans ensilage de maïs ont été préférés aux autres, bien que ces différences soient moins marquées après 6 et 12 mois de maturité. En ce qui concerne les fromages de chèvre, des résultats récents ont montré que le foin de luzerne conduisait à des fromages au goût beaucoup plus intense que le maïs d'ensilage (Durand et al., 2002). Chez les brebis, l'utilisation de l'ensilage de maïs a augmenté le nombre de spores butyriques mais n'a eu aucune conséquence sur les caractéristiques sensorielles des fromages (Cavani et al., 1991). La question de la préservation de l'herbe sous forme d'ensilage fait depuis longtemps un débat au sein des filières fromagères. Certains défauts spécifiques pouvaient être constatés lorsque l'ensilage était mal conservé (Grappin and Coulon, 1996; Urbach, 1990), notamment dans les fromages cuits, où la présence de spores butyriques dans l'ensilage et dans le lait peut entraîner des problèmes majeurs d'affinage des fromages (mauvais goût et odeur désagréable) (Demarquilly, 1998). Les résultats semblent différents lorsque la qualité de l'ensilage est bonne. Verdier-Metz et al. (1998) ont mené une étude sur des fourrages cultivés le même jour, et conservés soit sous forme d'ensilage (avec ajout de conservateur acide) soit sous forme de foin aussi le même jour (Tableau 5). La qualité de la conservation était excellente dans les deux cas et les apports aux animaux en nutriments ont été calculés de manière équivalente. Les fromages étaient fabriqués dans une fromagerie expérimentale avec du lait de vaches nourries avec les différents types de fourrage. Les fromages à base de lait d'ensilage étaient plus jaunes et légèrement plus amers que ceux à base de lait de foin. Les autres caractéristiques chimiques et sensorielles des fromages ne différaient pas entre les deux traitements.

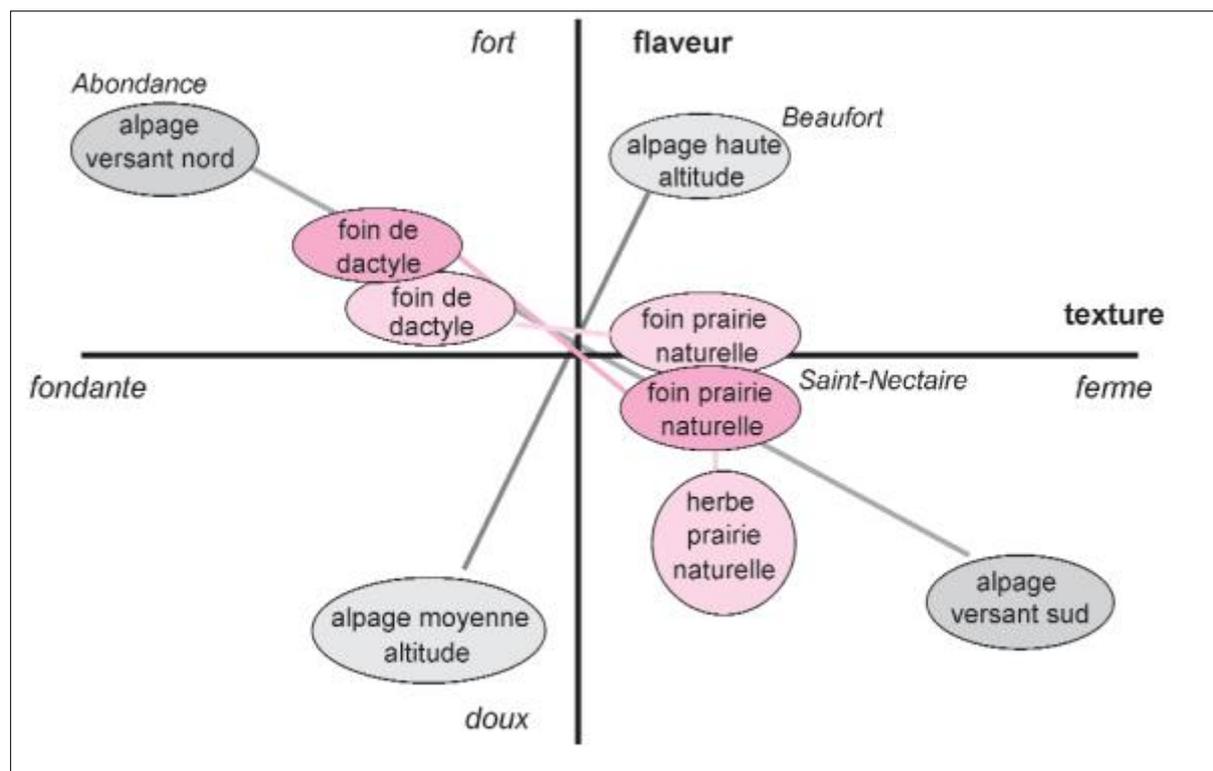
**Tableau 5: Effet de la conservation des fourrages sur les caractéristiques chimiques et sensorielles des fromages**

Essai	1		2	
	EH	P	EH	F
<b>Lait</b>				
<b>TB (g/l)</b>	35,3	36,3	36,4	37,1
<b>TP(g/l)</b>	33,6	33,5	28,7	33,6
<b>Fromage</b>				
<b>Extrait sec</b>	54,6	54,8	52,6	52,7
<b>Gars/sec</b>	52,3	52,0	54,1**	50,5
<b>IG</b>	32,9	29,9	24,7**	30,5
<b>TF</b>	4,6	4,5	4,3**	3,4
<b>TC</b>	3,1	3,3	4,1*	3,5
<b>IG</b>	5,4	5,3	5,0*	5,6
<b>IO</b>	5,2	5,2	4,6	4,4
<b>OP</b>	-	-	1,3**	0,2
<b>A</b>	3,5	3,2	1,5*	1,9

**EH : ensilage de l'herbe, P : pâturage, F : foin, P, TC : texture collante, IG : intensité du goût, IO : intensité odeur, OP : odeur piquante, A : amertume, < 0.05; \*\* P < 0.01.** (ce tableau a été synthétisé par (Coulon et al., 2004) à partir des données de : (Verdier-Metz et al., 1998)

#### 2.4.2 Effet de la diversité botanique des fourrages

Selon Coulon et al. (2004) plusieurs essais ont été réalisés pour décrire et analyser l'effet de la diversité botanique des fourrages dans l'alimentation des animaux (sous forme pâturée ou conservée) sur les caractéristiques sensorielles de différents types de fromage, généralement à pâte pressée cuite (figure 1).



**Figure 1: Différenciation des caractéristiques sensorielles (flaveur et texture) de différents fromages selon la nature des fourrages. Représentation schématique dressée par (Coulon et al., 2004) selon des résultats obtenus dans les essais cités dans le texte.**

Un premier essai est réalisé par Buchin et al. (1999) chez un producteur fermier, cet essai a consisté à comparer les caractéristiques de fromages fabriqués lorsque son troupeau a pâture successivement les deux versants d'un même alpage (dont la composition botanique était très différente), puis est revenu sur une zone du premier versant mise en défens lors du premier passage. Les deux séries de fromages réalisés lorsque les animaux pâturaient le versant sud de l'alpage s'opposent aux fromages du versant nord. Les différences les plus importantes concernent la texture : les fromages du versant nord ont été moins fermes, plus fondants et plus pâteux. Sur le plan des arômes et des saveurs, les fromages du versant nord ont été globalement plus « corsés » (plus salés et amers, avec des arômes aigre, d'étable et de sueur) et ceux du versant sud plus « doux », avec des arômes de fruits plus développés. Un deuxième essai a été réalisé par Martin et al. (2001) en en alpage chez un producteur de Beaufort, selon le même principe que l'essai 1. Il a permis de montrer des différences concernant essentiellement la flaveur : les Beaufort des pelouses « alpines » (> 2200 m) ont été plus salés, plus piquants et plus acides que ceux des pelouses « moyennes ». Ils ont présenté des arômes plus intenses et plus épicés.

Un troisième essai (Verdier-Metz et al., 1998) a consisté à fabriquer un fromage à pâte pressée selon une technologie Saint-Nectaire dans une fromagerie expérimentale à partir de lait de vaches conduites dans les mêmes conditions (traite, état sanitaire, apports nutritifs, logement...) mais recevant du dactyle (sous forme de foin) ou de la prairie naturelle d'Auvergne (en vert ou sous forme de foin). Comparativement aux fromages de foin de dactyle, les fromages de prairie naturelle ont été moins fondants et moins amers, avec des odeurs de rance et de moisi moins développées. Lorsque la prairie naturelle a été offerte en vert, les fromages ont été plus salés et moins aigres que lorsqu'elle était offerte sous forme de foin.

Enfin, dans un essai récent Bugaud et al. (2002), réalisé chez trois producteurs fermiers d'Abondance, il a été clairement montré qu'à côté de différences d'un producteur à l'autre, il existait des écarts importants pour un même producteur selon les caractéristiques des prairies pâturées. Si les écarts les plus importants opposent les prairies de plaine à celles de montagne, il subsiste aussi une variabilité au sein des pelouses d'alpage. Les différences les plus importantes ont concerné la texture des fromages, plus cohésive, élastique et déformable en plaine qu'en montagne, et plus sableuse sur les pelouses nitrophiles et nivales que sur les pelouses humides. Ces résultats confirment et précisent ceux obtenus par (Bosset et al., 1999) sur des fromages de type Gruyère produits à partir de laits de plaine ou de montagne. Dans cet essai, les fromages de montagne ont présenté une saveur plus intense que ceux de plaine. Ils ont en particulier été jugés plus « animal » et plus « piquant ».

# Chapitre 3

### 3 Profils sensoriels

#### 3.1 Introduction

Selon la norme ISO 13299 (2016), un profil sensoriel est défini comme le résultat d'une analyse descriptive d'un échantillon par un jury. L'échantillon peut prendre plusieurs formes, par exemple être un aliment, une boisson, un produit du tabac, un produit cosmétique, un textile, un papier, un emballage, un échantillon d'air ou d'eau, etc. L'établissement d'un profil peut s'effectuer de plusieurs façons. Au cours des années, quelques-unes ont été formalisées et codifiées en tant que méthodes descriptives par des sociétés professionnelles ou par des groupes de producteurs et d'utilisateurs afin d'améliorer la communication entre eux.

Un profil sensoriel est la description des propriétés sensorielles d'un échantillon, consistant généralement à évaluer les descripteurs sensoriels en attribuant une valeur d'intensité à chaque descripteur. Les descripteurs sont généralement évalués dans l'ordre de la perception. Certains profils sensoriels mettent en jeu tous les sens, alors que d'autres (profils partiels) se concentrent en détail sur des sens spécifiques. La qualité des résultats dépend du nombre de sujets et de leur capacité à décrire leurs perceptions. De plus, comprendre quels attributs sont responsables de l'acceptation d'un produit est indispensable pour le développement de nouvelles techniques de fabrication. L'analyse quantitative descriptive QDA<sup>®</sup> est un exemple de technique de profilage (Chollet et al., 2011).

La formation et le développement d'un langage commun contribuent à améliorer ces capacités. Certaines méthodes ont été utilisées avec des sujets non entraînés (profil sensoriel à libre choix) qui est la partie la plus importante dans ce travail de master. Dans cette revue de la littérature, nous nous proposons d'établir une liste des différents profils sensoriels.

#### 3.2 Émergence de nouvelles méthodes sensorielles rapides

L'industrie alimentaire, comme toute autre industrie, est soumise à une pression croissante pour innover et proposer de nouveaux produits alimentaires qui séduiront immédiatement le consommateur et offriront de nouveaux moyens de réaliser des bénéfices sur un marché qui a traditionnellement de faibles marges. En même temps, les coûts pour les innovations de produits doivent être valorisés et l'industrie alimentaire est obligée de développer et d'appliquer de nouvelles méthodes qui fournissent des informations ou des données plus pertinentes sur le consommateur à un prix inférieur. Par conséquent, ces dernières années, il y a eu un fort développement de nouveaux systèmes sensoriels dits méthodes rapides qui satisfont à ces exigences. Un certain nombre de ces méthodes

sensorielles rapides ont gagné beaucoup attention ces dernières années (Dehlholm et al., 2012; Varela and Ares, 2012).

### 3.3 Différents profils sensoriels

#### 3.3.1 Le profil conventionnel

Le but de la méthode de profil conventionnel est d'établir une description complète des propriétés sensorielles d'un ensemble de produits sur le plan qualitatif (identification de l'ensemble des descripteurs sensoriels permettant de décrire un espace produit) et quantitatif (notation de l'intensité de chaque descripteur sensoriel pour chaque produit). L'aboutissement de la méthode du profil conventionnel est le profil sensoriel des produits (ou « profil »), c'est à dire la description quantifiée des propriétés sensorielles d'un ensemble de produits. Le plus souvent, le profil sensoriel des produits est représenté sous forme de graphique(s). Le profil peut être partiel, c'est-à-dire restreint à une ou plusieurs modalités sensorielles (par exemple, la texture) (ISO 13299, 2003) La réalisation du profil sensoriel de produits comprend plusieurs étapes (Figure 2) :

La constitution du panel, la constitution d'une liste de descripteurs peu corrélés entre eux permettant de mettre en évidence des différences entre les produits, l'entraînement du panel à l'utilisation des descripteurs de manière répétable, consensuelle et discriminante, et enfin l'évaluation finale durant laquelle les produits sont présentés en « monadique séquentiel » c'est à dire les uns après les autres, et un seul à la fois. Tout le travail effectué par les sujets avant la phase d'entraînement et pendant la phase d'entraînement des sujets permet l'alignement des concepts sensoriels entre les sujets.

Le choix de l'espace produits en début de profil est primordial : de lui dépendent-les descripteurs générés par les sujets. Durant les séances, le rôle de l'animateur est censé être aussi neutre que possible : il ne doit pas imposer son point de vue de manière arbitraire, mais chercher le consensus entre les sujets.

En plus des informations fournies par le descripteur lui-même, la définition d'un descripteur est nécessaire pour bien le comprendre, car l'utilisation de références physiques à chaque descripteur peut aider à évoquer des concepts sensoriels (Stampanoni, 1993b). Il n'est pas possible de communiquer le concept perceptif associé à une couleur à travers la visualisation d'objets de la même couleur et de lui donner le fichier de surnoms, car nous ne pouvons pas décrire la couleur comme une couleur pour une personne aveugle, donc cette idée peut être appliquée avec d'autres sens tels que l'odorat, l'odeur et la texture (O'mahony

et al., 1990). Les références physiques sont les plus efficaces pour obtenir l'utilisation harmonique des descripteurs sur plusieurs panneaux (O'mahony et al., 1990). La référence physique est utilisée pour définir une caractéristique alimentaire spécifique. Les références doivent être simples, reproductibles et spécifiques pour illustrer le concept perceptif (Stampanoni, 1993b). L'utilisation de nombreuses références physiques est nécessaire pour chaque descripteur, car souvent un seul fichier de référence pour chaque descripteur est insuffisant pour harmoniser les concepts perceptifs entre les sujets (Ishii and O'Mahony, 1987). Le profil conventionnel est la méthode de référence qui est dérivée des méthodes d'analyse descriptive quantitative QDA<sup>®</sup> (Stone et al., 2008). Le profil conventionnel est appelé aussi le profil traditionnel, car il combine les différentes méthodes d'analyse sensorielle descriptive (dont le QDA<sup>®</sup>) en fonction des objectifs spécifiques des études qui ont été menées et peut introduire des variables ou des modifications (Murray et al., 2001). La méthode du profil est souvent utilisée pour décrire les qualités organoleptiques des fromages (Drake et al., 2007). Afin de mieux comprendre certains des phénomènes ou mécanismes spécifiques du fromage, les résultats de ces profils ont généralement été combinés avec d'autres données physicochimiques (Drake et al., 2007). Pour définir le type de fromage, certaines équipes ont travaillé plus spécifiquement sur l'élaboration d'un lexique des saveurs pour décrire les arômes et les saveurs (Rétiveau et al., 2005). Pour définir des saveurs associées à des références qui clarifient chaque descripteur, développer un lexique basé sur les saveurs pour une variété de fromages. L'analyse de ces différents articles montre que la même terminologie sensorielle est utilisée pour décrire le fromage, avec des différences de sémantique qui peuvent être constatées. Les différences sont plus visibles dans la manière dont il est présenté (Rétiveau et al., 2005).

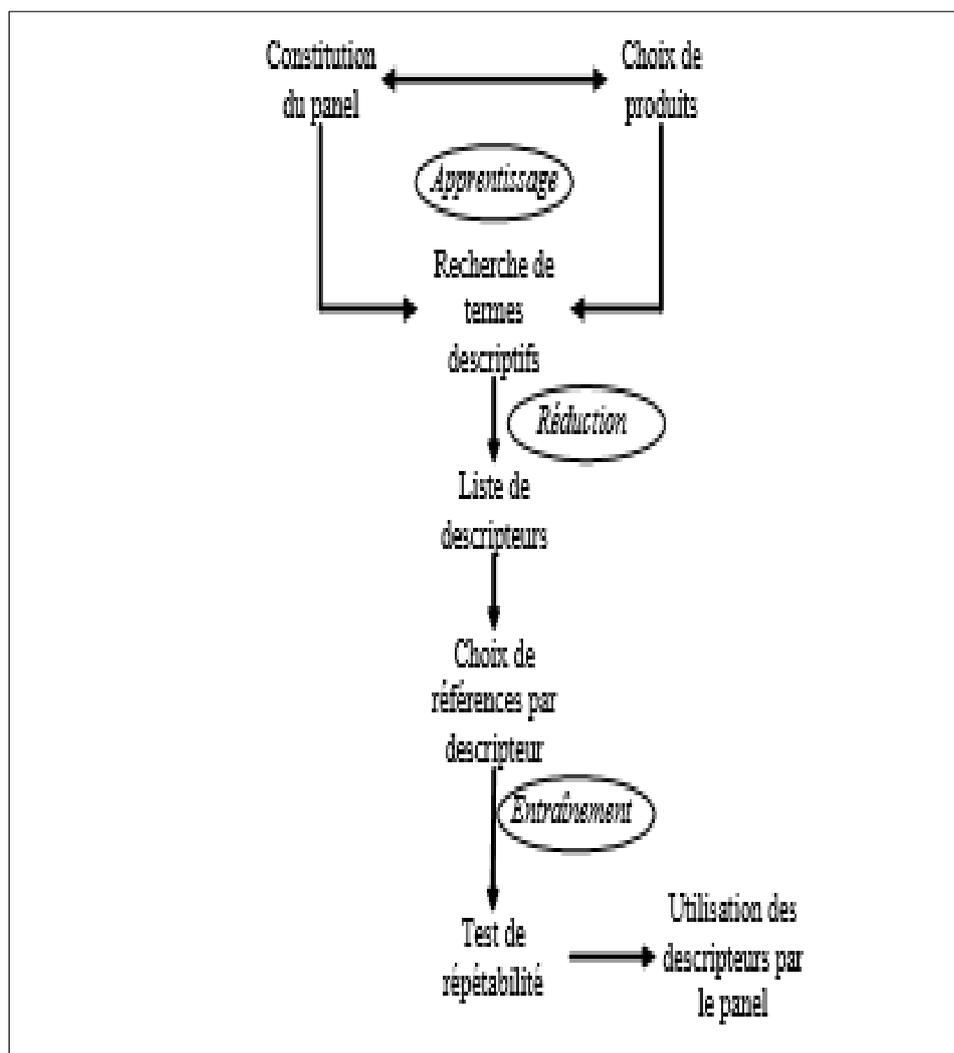


Figure 2: principales étapes de profil conventionnel (ISO 13299, 2003)

### 3.3.2 Profil libre choix (PLC)

L'analyse descriptive utilise des panélistes hautement qualifiés pour évaluer objectivement les caractéristiques du produit. Ils ne fournissent pas de réponses d'appréciation ou d'acceptation et sont généralement traités comme une mesure instrumentale. La méthode du profil libre choix (Free choice profiling) a été développée par (Williams and Langron, 1984). Cette méthode permet de décrire les propriétés organoleptiques d'un échantillon par des personnes qui sélectionnent puis utilisent leurs descripteurs pour caractériser un groupe de produits (Barthélémy, 1990).

Lors des tests avec les consommateurs, ils sont le plus souvent invités à évaluer des attributs spécifiques en fonction de leur goût ou de leur intensité. Ces attributs prédéterminés peuvent ne pas être importants ou détectables pour le consommateur et peuvent ne pas fournir

les données nécessaires (Deliza et al., 2005). De plus, l'hypothèse selon laquelle les consommateurs sont capables de décrire avec précision les produits devient de plus en plus acceptée dans la communauté des sciences sensorielles (Varela and Ares, 2012), élargissant ainsi l'utilisation de profilage libre. Un avantage de cette méthode est que les évaluateurs, qui ne sont pas formés, peuvent être considérés en tant que représentant des consommateurs naïfs (Chollet et al., 2011).

Le profilage à choix libre (FCP) est une méthode rapide et peu coûteuse dans laquelle les consommateurs sont invités à identifier les attributs de l'échantillon et à évaluer le goût et / ou l'intensité de ces attributs (González Viñas et al., 2001). Ils doivent recevoir des instructions adéquates sur la manière de réaliser ce test et éventuellement des catégories de produits à prendre en compte (arôme, apparence, saveur, texture, etc.). Chaque consommateur aura des attributs différents, indiquant lesquels sont les plus importants. Bien que les consommateurs doivent être recrutés comme d'habitude (utilisation du produit, spécifications d'âge / sexe), les chercheurs peuvent être en mesure de séparer les consommateurs en groupes, afin de mieux identifier les caractéristiques les plus importantes dans ce segment (González Viñas et al., 2001).

Les consommateurs ayant développé différents lexiques / vocabulaires, des termes similaires peuvent être regroupés à la discrétion du chercheur: d'abord par catégorie, puis par terme. Il est important de noter que les consommateurs peuvent utiliser des termes de différentes manières. L'analyse de Procrustéenne généralisée (APG) est un outil statistique courant pour analyser les données du PLC. APG peut comparer les résultats PLC sur tous les termes. Les valeurs restent des données individuelles et non des valeurs moyennes. Les résultats indiqueront des attributs significatifs, la discrimination des produits et la performance des panélistes (Meullenet et al., 2008). L'analyse en composantes principales (ACP) sur les attributs des produits peut également être utilisée pour représenter graphiquement les scores des produits et des panélistes, mais pas aussi clairement que APG. L'analyse procrustéenne généralisée (APG) est utilisée pour manipuler statistiquement des configurations individuelles pour obtenir une carte sensorielle des produits (Gower, 1975). En pratique, un profilage libre est effectué selon deux sessions : une session de génération des attributs et une session de notation (Williams and Langron, 1983). La session de génération des attributs, c'est une session de création de termes descriptifs où le facilitateur ne mène pas de discussion entre les sujets car chaque sujet génère sa propre terminologie, cette session est réalisée selon les étapes suivantes : (1) la présentation des échantillons (simultanément ou un

à la fois) à l'évaluateur (2) l'évaluation chaque échantillon et de noter tous les attributs qu'ils perçoivent dans chaque échantillon et noter s'il s'agit d'un terme d'arôme, de saveur, de sensation en bouche, de texture ou d'arrière-goût (3) Une fois qu'ils ont évalué tous les échantillons, les évaluateurs doivent lister tous les termes descriptifs qu'ils ont générés et regroupés par modalité (arôme, saveur, etc.). La seconde session de notation qui consiste à l'évaluation quantitative des produits à fourniture unique est répétée deux fois ou plus.

L'avantage de cette méthode est qu'elle est plus rapide que les méthodes de profil classiques car elle ne nécessite pas une longue formation et le travail de discussion de groupe est supprimé, il est donc possible de l'augmenter à la taille du groupe (Barthélémy, 1990). Là où il prend en compte l'espacement interculturel des thèmes en question, ce qui conduit à la diversité de la terminologie utilisée, où l'étape de sélection des termes répétables et distinctifs est relativement longue et l'autre inconvénient est la difficulté d'interpréter les termes créés par les thèmes (Montet, 2001).

#### 3.3.3 Le profil flash

Méthode d'évaluation sensorielle dite « rapide », le Profil Flash publié en 2002 par Dairou and Sieffermann (2002) est une variante du profil libre choix. La particularité du Profil Flash s'appuie sur un classement par rang des produits évalués pour chacun des descripteurs sensoriels caractérisés précédemment au niveau individuel. Cette procédure permet de diminuer la phase d'entraînement des sujets et ainsi de réduire les coûts inhérents à la mise en place d'un profil sensoriel conventionnel. Bien que la discrimination des produits soit souvent plus précise via un profil sensoriel, les deux méthodologies (profil sensoriel et Profil Flash) donnent généralement des résultats comparables en termes de positionnement des produits et de corrélation des descripteurs. De plus, le Profil Flash a pour avantage de prendre en compte les différences interindividuelles, où un groupe de personnes qui ne sont pas formées à des intérêts spécifiques est sélectionné pour décrire et évaluer un ensemble de résultats en ce sens. Réalisé avec une dizaine de sujets semi-entraînés à la description sensorielle, les données de Profil Flash sont analysées par une analyse procustéenne généralisée (APG). Ceci, afin de prendre en compte la diversité des descripteurs élicités au niveau individuel. Ce type d'analyse qui permettra ainsi d'interpréter les résultats en basant sur une cartographie d'espace du produit.

# Chapitre 4

## 4 Analyse procrustéenne généralisée

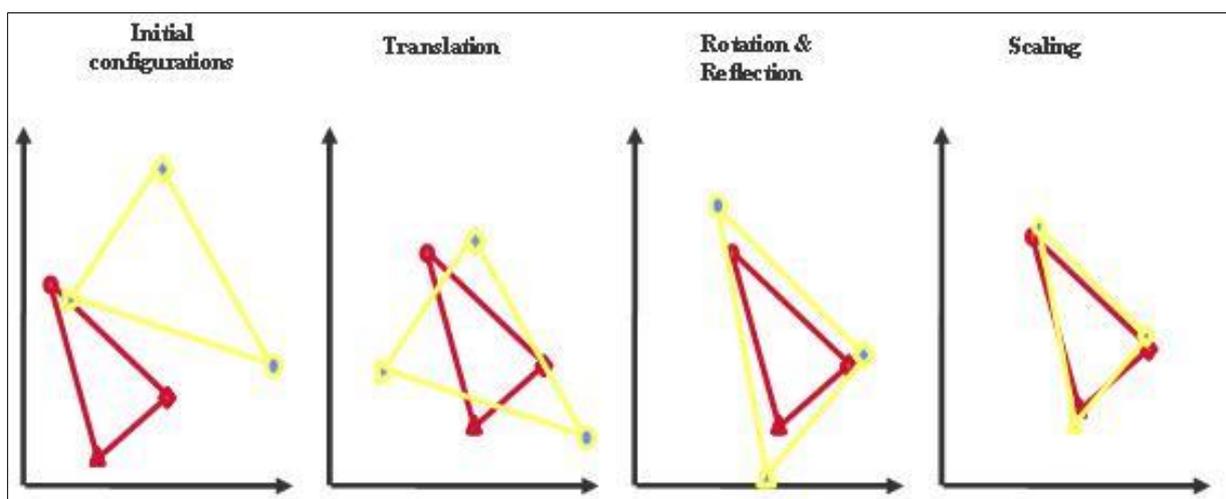
### 4.1 Introduction

Comprendre et reproduire la spécificité et originalité de systèmes alimentaires complexes comme le fromage est difficile. Pour ce faire, il faut avoir des méthodes d'analyse et de caractérisation spécifiques au système alimentaire (Linden and Chamba, 1994). Afin de fournir une classification précise des fromages, des méthodes physiques et chimiques ont été développées et appliquées aux produits laitiers (en particulier les fromages), de même que microbiologiques, rhéologique, biométrique et enzymologiques, ces techniques d'évaluation permettent des mesures qualitatives et quantitatives des propriétés sensorielles (Vioque et al., 2000). Cependant, bien que les méthodes instrumentales peut fournir des informations sur la présence d'agents odorants dans le fromage, la définition de la qualité du fromage reste souvent incomplet à moins qu'un objectif sensoriel comme la caractérisation de l'aspect, de l'arôme, de la saveur des fromages et la texture est fournie (Nielsen et al., 1998). Par conséquent, de nombreuses études sur le fromage combinent des mesures sensorielles pour mieux comprendre les propriétés des fromages (Engel et al., 2000), et dans certains cas, pour définir une relation entre composition et les caractéristiques de saveur (Hulin-Bertaud et al., 2000). L'Analyse Procrustéenne Généralisée (AGP, ou Generalized Procrustes Analysis ou GPA en anglais) est souvent utilisée en analyse sensorielle avant une cartographie des préférences pour réduire les effets d'échelle et obtenir une configuration bi ou tri-dimensionnelle consensuelle (ou configuration moyenne). Cette méthode est aussi utilisée en marketing pour comparer les proximités entre les termes utilisés par différents experts/amateurs pour décrire des produits.

### 4.2 Notions de bases relatives à l'analyse procrustéenne généralisée

L'analyse procrustéenne généralisée est une technique exploratoire multi variée qui implique des transformations à savoir : la translation, rotation, réflexion, redimensionnement et isotrope de matrices de données individuelles pour fournir une comparabilité optimale (figure 3). La moyenne des matrices individuelles est appelée matrice de consensus. L'APG est une technique multi variée utilisée pour analyser les données de différents panélistes (Gower, 1975). Elle a été initialement développée pour être utilisée dans l'analyse des données générées par profil libre choix (PLC). APG égalise les termes / attributs et l'utilisation de l'échelle utilisées dans les vocabulaires spécifiques aux panélistes de PLC. Au lieu d'utiliser des valeurs moyennes comme l'ACP, APG utilise des scores individuels pour

tenir compte de toute variance. Puisque tous les panélistes évaluent les mêmes échantillons, les échantillons restent constants et ne varient pas (Xiong et al., 2008). Les matrices individuelles et de consensus sont généralement soumises à l'analyse en composantes principales (ACP) et projetées sur un espace dimensionnel inférieur. Cet espace fournit un point de vue pour comparer les données individuelles et visualiser le consensus. En théorie, on peut supposer que les processus de transformation matricielle aident à se concentrer sur les phénomènes perceptifs sous-jacents indépendants. Une APG ultérieure peut démontrer le produit / attribut et les scores du panéliste dans l'espace sensoriel. Combinée avec ANOVA, la reconnaissance de panélistes singuliers est simple. La représentation graphique d'APG est facile à interpréter car les vecteurs illustrent la distance entre les réponses des panélistes et l'origine. Cela indique également les relations entre les panélistes et les produits, y compris les différences de produits et l'accord des panélistes (indiquant les valeurs aberrantes, etc.). L'ACP par attribut peut également être effectuée sur les données. Cependant, il n'est pas aussi agréable visuellement ni facile à interpréter en ce qui concerne l'accord des panélistes (Xiong et al., 2008). L'APG est populaire parmi les professionnels sensoriels comme moyen de combiner les données de différents évaluateurs individuels. L'APG est particulièrement utile pour le profilage à choix libre ou le profilage flash, car elle peut accueillir différents nombres et types d'attributs parmi les évaluateurs. De plus, l'APG peut être utilisée pour décrire visuellement différents effets, tels que les différences de produits, l'accord des évaluateurs et la répétabilité. La signification de ces effets différents peut être testée avec des tests de permutation APG.



**Figure 3: Analyse de Procrustes: translation, rotation et réflexion, et mise à l'échelle isotrope (Xiong et al., 2008)**

L'APG consiste à faire coïncider au mieux les polyèdres ABC de deux sujets en utilisant des transformations géométriques qui ne modifient pas les positions relatives des produits. Pour chaque couple de sujets on minimise la somme des carrés des distances entre les sommets correspondants.

$$D^2(\text{sujet}_1, \text{sujet}_2) = d^2(A_1, A_2) + d^2(B_1, B_2) + d^2(C_1, C_2).$$

Lorsqu'il y a plus de deux sujets on obtient une matrice de distances. Une stratégie possible consiste à effectuer une analyse factorielle d'un tableau de distances ou une classification automatique sur cette matrice. La seconde stratégie consiste à utiliser l'analyse procrustéenne généralisée ou APG cette analyse ajuste chacune des configurations individuelles à une moyenne fournie par l'analyse. Cette configuration moyenne est interprétée comme le consensus du panel elle n'a de sens que si les sujets sont homogènes dans leurs jugements (Depledge, 2009)

### 4.3 Le principe de l'analyse procrustéenne généralisée (APG)

L'APG corrige les différences artificielles de variance qui résultent de l'utilisation d'échelles différentes (ayant des plages différentes) dans différents panneaux. L'option de réduction de dimension fait référence à la méthode développée par (Peay, 1988), où la configuration du consensus est contrainte d'être d'une dimensionnalité inférieure à la pleine. La méthode par défaut, est l'approche "classique" de l'APG introduite par (Gower, 1975) en utilisant l'algorithme amélioré par (Ten Berge, 1977). Une dernière option d'entrée concerne un test de permutation, qui vérifie si le consensus trouvé est significatif, c'est-à-dire significativement meilleur que ce qui peut être obtenu à partir de données publiées par (Wakeling et al., 1992).

Une analyse des composantes principales avec 3 axes, permet de visualiser les positions relatives des échantillons. Il faut faire preuve de prudence dans l'interprétation non seulement en examinant la conformité du placement des produits, mais également en examinant le degré d'incrémentation entre les sujets pour chaque échantillon. Cette inspection visuelle peut être complétée par un test qui nous permet de voir si les produits sont significativement différents. Cela se fait en regardant les coordonnées individuelles de chaque produit. Effectuer toute analyse de variance séparément pour chacun des axes réservés ou analyse MANOVA (Multiple Analysis of variance) sur tous les axes. Pour voir comment les produits diffèrent, il est nécessaire d'interpréter les axes conservés pour construire un consensus et dessiner des circuits de corrélation dans chaque plan spécifique (Depledge, 2009).

### 4.4 Application de l'analyse procrustéenne généralisée (APG) dans l'analyse sensorielle

Les spécialistes de l'alimentation utilisent souvent la méthode du profil, qui consiste à demander aux évaluateurs de noter des échantillons pour des attributs ou des termes descriptifs. Mais quelques problèmes apparaissent lorsque l'humain est pris comme instrument de mesure. Par exemple, la compréhension des attributs peut être différente de l'un à l'autre, ou des attributs donnés ne peuvent pas être les évaluateurs les plus appropriés. Pour décrire les différences entre les échantillons détectés Williams et Langron (1984) ont décrit le profil libre choix (PLC) afin d'éviter ces problèmes. Chaque évaluateur est invité à établir sa propre liste d'attributs, qui doivent signifier quelque chose pour lui, mais pas nécessaire pour quiconque. Le fondement du (PLC) est de supposer que les évaluateurs ressentent les mêmes différences entre les échantillons, mais les décrivent avec des vocabulaires différents. Ainsi, il est admissible de traduire, dilater et faire pivoter des configurations définies par les évaluateurs, car ces transformations gardent le rapport des distances. Les rotations établissent un lien entre les différents vocabulaires, et enfin chaque composante principale du consensus peut être référencée à chaque vocabulaire par des corrélations.

### 4.5 Exemple pratique de l'utilisation d'analyse procrustéenne généralisée (APG) dans l'analyse sensorielle

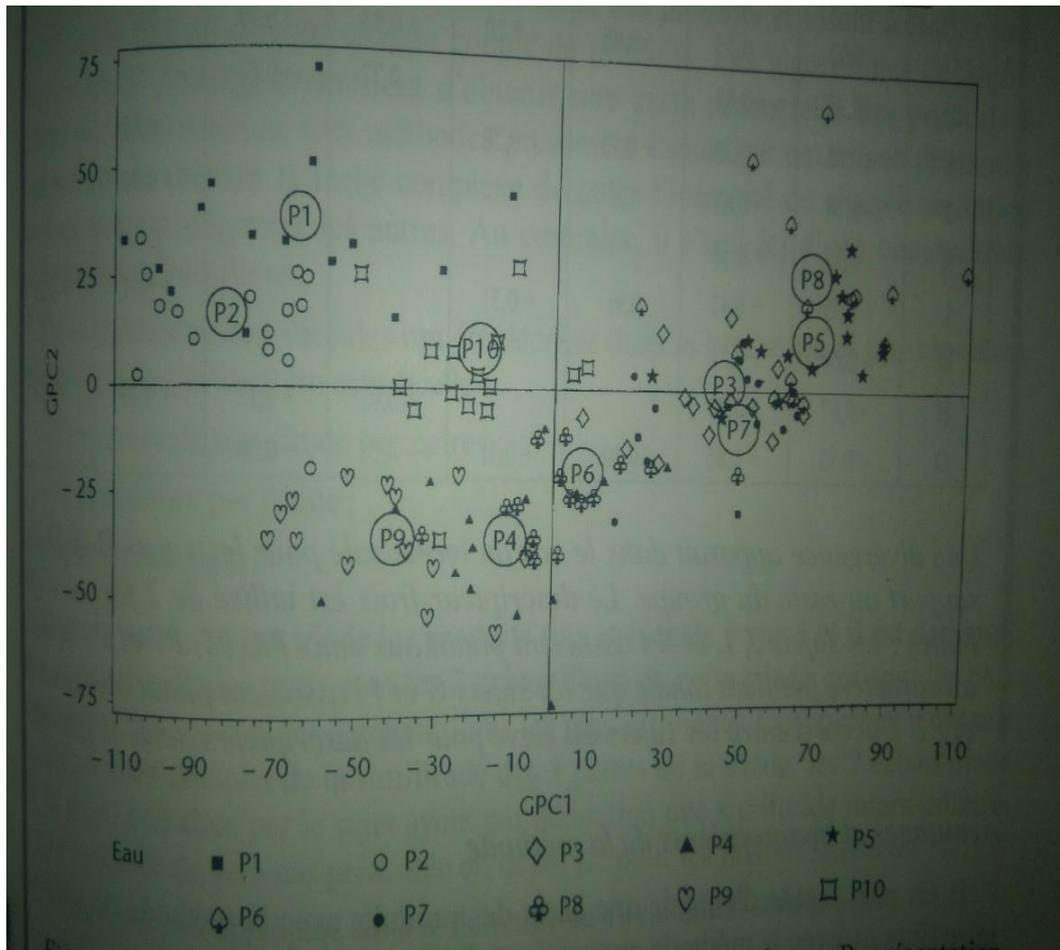
Cet exemple est celui qui a été présenté par Issanchou et al. (1992), dans cette étude, il y'a 10 eaux gazeuses qui ont été étudiées par 15 sujets sélectionnés et entraînés à l'usage de la méthode du profil à libre choix de vocabulaire. Dans ce cas, les données ont été traitées par l'analyse procrustéenne généralisée. Le tableau 6 donne la somme des carrés de la résiduelle c'est-à-dire la somme des carrés des distances entre la configuration de chaque sujet et la configuration consensus après les transformations de l'analyse procrustéenne. Plus la valeur est petite, plus le sujet est en accord avec le consensus. Les valeurs montrent l'homogénéité du groupe, aucun sujet ne se distingue par une valeur particulièrement élevée de la résiduelle. Néanmoins, les sujets O ou H sont un peu moins en accord avec le groupe. La variation résiduelle peut également être décomposée selon les produits. Lorsque les valeurs sont voisines, le degré d'agrément concernant la position d'un produit dans l'espace consensus est le même pour tous les produits. Ces valeurs, données dans le tableau 6, montrent que le consensus est moins bon pour les produits P1, P4, P8

La figure 4 donne les position consensus des 10 produit sur les 2 premiers axes de l'analyse en composantes principales du tableau consensus calculé par l'analyse

procrustéenne. la figure 4 montre également le degré de cohésion autour du consensus pour chacun des produit étudiés. les position des 10 eaux pour chacun des 15 sujet permet de relativiser les distances entre les points consensus. L'examen de cette carte sensorielle qui représente 95 de l'information contenue dans le tableau consensus, permet de voir que l'axe 1 sépare les eaux P1 et P2 des eaux P3, P7, P5 et P8. L'axe 2 il qui ne porte que 16 % de l'information sépare les eaux P4, P6 et P9 des autres eaux.

**Tableau 6: décompositions de la variation résiduelle après analyse procrustéenne**

<b>A /par Sujet</b>		<b>B/par Sujet</b>	
<b>Sujet</b>	<b>Résiduelle</b>	<b>Sujet</b>	<b>Résiduelle</b>
<b>A</b>	8578	P1	15546
<b>B</b>	5995	P2	7866
<b>C</b>	9978	P3	8055
<b>D</b>	7360	P4	14405
<b>E</b>	4783	P5	9292
<b>F</b>	6575	P6	9498
<b>G</b>	4429	P7	9025
<b>H</b>	12048	P8	15168
<b>I</b>	9905	P9	11932
<b>J</b>		P10	9601
	6796		
<b>K</b>	4398	<b>TOTAL</b>	<b>110392</b>
<b>L</b>	6325		
<b>M</b>	6211		
<b>N</b>	6488		
<b>O</b>	10517		
<b>TOTAL</b>	<b>110392</b>		



**Figure 4: carte sensorielle des eaux après analyse procrustéenne, représentation des points consensus et des points individuels.**

Ayant obtenu cette carte des produits, il est intéressant de savoir sur quelles caractéristiques sensorielles portent les différences entre les eaux. La corrélation entre quelque descripteurs (dont les 3 descripteurs les plus utilisés, à savoir salé, acide et gazeux) et chacun des axes sont données dans le tableau 7. Une divergence apparaît dans le cas du terme salé pour les sujets B et D par rapport au reste du groupe. le descripteur frais est utilisé de 2 façons différentes : les sujets J,L et N l'associent plutôt P3,P5,P7 et P8 et donc au caractère pétillant tandis que les sujets G et I l'associent plutôt aux eaux P1 et P2 . L'accord entre les sujets est élevé pour les descripteurs acide et gazeux (Issanchou et al., 1992).

**Tableau 7: corrélations entre quelque descripteurs individuels et chacun des axes de la carte sensorielle (Issanchou et al., 1992)**

sujet	Descripteur salé		Descripteur acide		Descripteur gazeux		Descripteur frais	
	Axe 1	Axe 2	Axe 1	Axe 2	Axe 1	Axe 2		
<b>A</b>	-0,74	+0,57			-0,81	+0,37		
<b>B</b>	+0,91	-0,07	+0,95	+0,24	+0,84	+0,37		
<b>C</b>	-0,82	+0,55	+0,74	+0,40				
<b>D</b>	+0,41	+0,88	+0,88	+0,34	+0,95	+0,24		
<b>E</b>	-0,78	+0,58	+0,92	+0,006	+0,70	+0,65		
<b>F</b>	-0,79	+0,54	+0,88	-0,25				
<b>G</b>	-0,93	+0,35	+0,96	-0,20	+0,95	+0,19	-0,95	+0,23
<b>H</b>	-0,37	+0,84			+0,77	+0,52		
<b>I</b>	-0,78	+0,33	+0,73	+0,20			-0,82	-0,11
<b>J</b>	-0,76	+0,63					+0,95	-0,20
<b>K</b>	-0,77	+0,59						
<b>L</b>	-0,75	+0,47	0,91	+0,31			+0,71	+0,29
<b>M</b>	-0,64	+0,71						
<b>N</b>	-0,67	+0,29			+0,92	+0,17	+0,79	-0,23
<b>O</b>	-0,55	+0,80	0,80	+0,31	+0,55	+0,59		

# **Conclusion**

### Conclusion

Nous avons étudié l'effet des propriétés organoleptiques sur la qualité du fromage, où les propriétés organoleptiques des fromages sont représentées dans les réponses humaines telles que la vision, l'odeur et le goût avec la composition chimique du fromage car il est affecté par de nombreux facteurs liés au consommateur, notamment les capacités sensorielles, les expériences passées avec le fromage et les attentes des consommateurs.

De nombreuses études visent à contrôler ou à améliorer les propriétés organoleptiques du fromage telles que l'apparence, la saveur et la consistance où il est extrêmement important de contrôler la qualité pour maintenir la confiance des consommateurs, y compris des tests d'évaluation de la qualité, des tests de discrimination sensorielle et des tests d'analyse descriptive, où les analyses sensorielles les plus courantes sont le profil de saveur. Méthode de formation de tissu, analyse quantitative descriptive, méthode du spectre, profil de saveur quantitatif et profilage libre.

La qualité sensorielle du fromage dépend d'un certain nombre de facteurs associés à la fabrication du fromage. Les facteurs d'origine sont génétiques, physiologiques et nutritionnels. Des études expérimentales ont été menées sur la relation entre le comportement animal et la technique de fabrication du fromage. Les effets les plus importants des facteurs génétiques (polymorphisme et protéines lactiques) sur les propriétés physiques du fromage pour les vaches, les chèvres et les brebis

-chez les vaches :Les vaches normandes et montbéliardes sont réputées pour leur production élevée de protéines dans le lait, car leur caillé et leur dureté sont plus productifs et plus aptes à la fabrication de fromage que les bovins Holstein, cette différence réside dans la teneur en caséine entre les races

-Chez les chèvres: les saveurs du fromage diffèrent en raison d'une caractéristique génétique du lait de chèvre, car de nombreuses études ont confirmé que les fromages à base de lait de chèvre norvégien ont un goût de chèvre plus fort que ceux à base de lait de chèvre saanen.

-chez le brebis: Les résultats obtenus montrent qu'il n'y a pas de différence significative dans la composition chimique et physique du fromage, les propriétés organoleptiques des fromages étant liées à leur composition chimique et non à la race animal.

Quant à l'effet de l'état de santé, la mammite est le problème le plus courant dans les troupeaux laitiers, car elle transmet des germes infectieux au lait. La mammite a été décrite

## Conclusion

---

sur la coagulation du lactosérum ainsi que sur le rendement en fromage par plusieurs auteurs dans le lait de vache, de chèvre et de brebis.

Quant à l'influence des aliments, les caractéristiques organoleptiques des fromagers sont affectées par le type d'aliment donné aux animaux, car la production d'aliments de haute qualité est un objectif premier car l'aliment est le seul composant de la ration qui doit couvrir les besoins de l'animal.

Dans l'industrie alimentaire, et pour évaluer la qualité organoleptique d'un produit alimentaire, de nouvelles méthodes sensorielles rapides ont été développées qui fournissent des données et des informations plus pertinentes au consommateur, y compris le profil conventionnel, qui est la méthode de référence dérivée des méthodes d'analyse descriptive quantitative (QDA), qui vise à décrire pleinement les propriétés organoleptiques d'un groupe de produits en termes de qualité.

En outre, un profil de libre choix est une description des propriétés organoleptiques d'un échantillon à l'aide de leurs propres descripteurs, où l'avantage de cette méthode est qu'elle est plus rapide que les méthodes de profil conventionnel.

Le profil flash est dérivé du fichier de libre choix car il se caractérise par la prise en compte des différences entre les individus, Les données du profil Flash et du profil libre choix sont analysées par APG, analyse procrustéenne généralisée car elle permet d'analyser et d'interpréter les résultats en fonction de la disposition de la zone de produit.

L'analyse procrustéenne généralisée permet une comparaison optimale en termes de translation, rotation, réflexion et redimensionnement, car APG est particulièrement utile pour profiler la liberté de choix ou spécifier les caractéristiques du flash. APG est également utilisé pour décrire visuellement différents effets.

Le résultat de l'analyse procrustéenne généralisée est une carte de formation de produit convenue pour montrer comment les produits sont perçus en général. Des diagrammes pour chaque caractéristique peuvent également être produits pour définir les caractéristiques qui sont utilisées pour décrire une caractéristique particulière.

# Références Bibliographiques

## Références bibliographiques

- Abdi, H., Williams, L. J., Valentin, D., and Bennani-Dosse, M. (2012). STATIS and DISTATIS: optimum multitable principal component analysis and three way metric multidimensional scaling. *WIREs Comput. Stat.* **4**, 124–167.
- Adhikari, K., Heymann, H., and Huff, H. (2003). Textural characteristics of lowfat, fullfat and smoked cheeses: sensory and instrumental approaches. *Food Quality and Preference* **14**, 211-218.
- Agabriel, C., Martin, B., Sibra, C., Bonnefoy, J.-C., Montel, M.-C., Didiene, R., and Hulin, S. (2004). Effect of dairy production systems on the sensory characteristics of Cantal cheeses: a plant-scale study. *Animal Research* **53**, 221-234.
- Antoniou, K., Petridis, D., Raphaelides, S., Omar, Z. B., and Kesteloot, R. (2000). Texture assessment of French cheeses. *Journal of Food Science* **65**, 168-172.
- Aparicio, J. P., Medina, M. A. T., and Rosales, V. L. (2007). Descriptive sensory analysis in different classes of orange juice by a robust free-choice profile method. *Analytica Chimica Acta* **595**, 238-247.
- Auldust, M., Mullins, C., O'BRIEN, B., O'KENNEDY, B., and Guinee, T. (2002). Effect of cow breed on milk coagulation properties. *Milchwissenschaft* **57**, 140-143.
- Auldust, M. J., Coats, S., Sutherland, B. J., Mayes, J. J., McDowell, G. H., and Rogers, G. L. (1996). Effects of somatic cell count and stage of lactation on raw milk composition and the yield and quality of Cheddar cheese. *Journal of Dairy Research* **63**, 269-280.
- Bakke, H., Steine, T., and Eggum, Å. (1977). Flavour score and content of free fatty acids in goat milk. *Acta Agriculturae Scandinavica* **27**, 245-249.
- Bakkene, G. (1985). Effect of crossbreeding on quality of goat's milk. *Meieriposten* **7**, 35-39.
- Barbano, D., Rasmussen, R., and Lynch, J. (1991). Influence of milk somatic cell count and milk age on cheese yield. *Journal of Dairy Science* **74**, 369-388.
- Barthélémy, J. (1990). Évaluation d'une grandeur sensorielle complexe: description quantifiée. *Evaluation sensorielle-manuel méthodologique*.
- Bérodier, F. (1997). Crus de Comté, flore des prairies et pratiques agricoles. *Du terroir au goût des fromages*, 186-189.
- Bodyfelt, F. W., Tobias, J., and Trout, G. M. (1988). "The sensory evaluation of dairy products," Van Nostrand Reinhold.
- Bogue, J., Delahunty, C., Henry, M., and Murray, J. (1999). Market-oriented methodologies to optimise consumer acceptability of Cheddar-type cheeses. *British Food Journal*.
- Bosset, J., Jeangros, B., Berger, T., Bütikofer, U., Collomb, M., Gauch, R., Lavanchy, P., Scehovic, J., Troxler, J., and Sieber, R. (1999). Comparaison de fromages à pâte dure de type gruyère produits en région de montagne et de plaine. *Revue Suisse Agriculture* **31**, 17-22.
- Brandt, M. A., Skinner, E. Z., and Coleman, J. A. (1963). Texture profile method. *Journal of Food Science* **28**, 404-409.
- Brown, J., Foegeding, E., Daubert, C., Drake, M., and Gumpertz, M. (2003). Relationships among rheological and sensorial properties of young cheeses. *Journal of Dairy Science* **86**, 3054-3067.
- Bryhni, E. A., Byrne, D. V., Rødbotten, M., Claudi-Magnussen, C., Agerhem, H., Johansson, M., Lea, P., and Martens, M. (2002). Consumer perceptions of pork in Denmark, Norway and Sweden. *Food Quality and Preference* **13**, 257-266.
- Buchin, S., MARTIN, B., DUPONT, D., BORNARD, A., and Achilleos, C. (1999). Influence of the composition of Alpine highland pasture on the chemical, rheological and sensory properties of cheese. *Journal of Dairy Research* **66**, 579-588.
- Bugaud, C., Buchin, S., Hauwuy, A., and Coulon, J. B. (2002). Texture et flaveur du fromage selon la nature du pâturage: cas du fromage d'Abondance. *Productions animales* **15**, 31-36.
- Cairncross, S. E., and Sjöstrum, L. B. (1950). Flavour profiles: a new approach to flavour problems. *Food Technol.* **4**, 308-311.

## Références bibliographiques

---

- Cavani, C., Bianconi, L., Manfredini, M., Rizzi, L., and Zarri, M. (1991). Effects of a complete diet on the qualitative characteristics of ewe milk and cheese. *Small Ruminant Research* **5**, 273-284.
- Chambres, I., EDGAR, and Robel, A. (1993). Sensory characteristics of selected species of freshwater fish in retail distribution. *Journal of Food Science* **58**, 508-512.
- 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* **22**, 507-520.
- Cooper, H. R. (1987). Texture in dairy products and its sensory evaluation. *Food texture* **1**, 251-272.
- Coulon, J.-B., Delacroix-Buchet, A., Martin, B., and Pirisi, A. (2004). Relationships between ruminant management and sensory characteristics of cheeses: a review. *Le Lait* **84**, 221-241.
- Coulon, J. B., Chilliard, Y., and Rémond, B. (1991). Effets du stade physiologique et de la saison sur la composition chimique du lait de vache et ses caractéristiques technologiques (aptitude à la coagulation, lipolyse).
- Coulon, J. B., and Rémond, B. (1991). Variations in milk output and milk protein content in response to the level of energy supply to the dairy cow: a review. *Livestock Production Science* **29**, 31-47.
- Coulona, J.-B., Gasquib, P., Barnouin, J., Ollier, A., Pradel, P., and Pomiès, D. (2002). Effect of mastitis and related-germ on milk yield and composition during naturally-occurring udder infections in dairy cows. *Animal Research* **51**, 383-393.
- Dairou, V., and Sieffermann, J. M. (2002). A comparison of 14 jams characterized by conventional profile and a quick original method, the flash profile. *Journal of Food Science* **67**, 826-834.
- Dantas, A. B., Jesus, V. F., Silva, R., Almada, C. N., Esmerino, E. A., Cappato, L. P., Silva, M. C., Raices, R. S. L., Cavalcanti, R. N., Carvalho, C. C., Sant'Ana, A. S., Bolini, H. M. A., Freitas, M. Q., and Cruz, A. G. (2016). Manufacture of probiotic Minas Frescal cheese with *Lactobacillus casei* Zhang. *Journal of Dairy Science* **99**, 18-30.
- Dehlholm, C., Brockhoff, P. B., Meinert, L., Aaslyng, M. D., and Bredie, W. L. (2012). Rapid descriptive sensory methods—comparison of free multiple sorting, partial napping, napping, flash profiling and conventional profiling. *Food Quality and Preference* **26**, 267-277.
- Delacroix-Buchet, A., Lefier, D., and Nuyts-Petit, V. (1993). Polymorphisme de la caséine  $\kappa$  de trois races bovines françaises et aptitude à la coagulation. *Le Lait* **73**, 61-72.
- Deliza, R., MacFie, H., and Hedderley, D. (2005). The consumer sensory perception of passion-fruit juice using free-choice profiling. *Journal of sensory studies* **20**, 17-27.
- Demarquilly, C. (1998). Ensilage et contamination du lait par les spores butyriques. *Productions animales* **11**, 359-364.
- Depledt, F. (2009). "Évaluation sensorielle: manuel méthodologique," Lavoisier Tec & Doc.
- Drake, M., Gerard, P., Wright, S., Cadwallader, K., and Civille, G. (2002). Cross validation of a sensory language for Cheddar cheese. *Journal of sensory studies* **17**, 215-227.
- Drake, M. A., and Delahunty, C. M. (2017). Sensory character of cheese and its evaluation. In "Cheese", pp. 517-545. Elsevier.
- Drake, M. A., Mcingvale, S. C., Gerard, P. D., Cadwallader, K. R., and Civille, G. V. (2001). Development of a Descriptive Language for Cheddar Cheese. *Journal of Food Science* **66**, 1422-1427.
- Drake, S., Carunchia Whetstine, M., Drake, M., Courtney, P., Fligner, K., Jenkins, J., and Pruitt, C. (2007). Sources of umami taste in Cheddar and Swiss cheeses. *Journal of Food Science* **72**, S360-S366.
- Dupont, D., Rémond, B., and Collin, J. (1998). ELISA determination of plasmin and plasminogen in milk of individual cows managed without the dry period. *Milchwissenschaft Milk Science International* **53**, 66-69.
- Durand, J.-L., Emile, J., Huyghe, C., and Lemaire, G. (2002). Multi-function grasslands: quality forages, animal products and landscapes. Proceedings of the 19th General Meeting of the European Grassland Federation, La Rochelle, France, 27-30 May 2002. In "Multi-function grasslands: quality forages, animal products and landscapes. Proceedings of the 19th General Meeting of

- the European Grassland Federation, La Rochelle, France, 27-30 May 2002.". Organizing Committee of the European Grassland Federation.
- Engel, E., Nicklaus, S., Septier, C., Salles, C., and Le Quéré, J.-L. (2000). Taste active compounds in a goat cheese water-soluble extract. 2. Determination of the relative impact of water-soluble extract components on its taste using omission tests. *Journal of agricultural and food chemistry* **48**, 4260-4267.
- Foegeding, E., Daubert, C., Drake, M., Essick, G., Trulsson, M., Vinyard, C., and Van de Velde, F. (2011). A comprehensive approach to understanding textural properties of semi-and soft-solid foods. *Journal of Texture Studies* **42**, 103-129.
- Forss, D. (1993). Effects of feed on flavour of dairy products. In "Milkfat Flavour Forum. NZ Dairy Res. Inst., Palmerston North, New Zealand", pp. 4-16.
- Froc, J., Gilibert, J., Daliphar, T., and Durand, P. (1988). Composition et qualité technologique des laits de vaches Normandes et Pie-Noires.
- Galina, M., Morales, R., Lopez, B., and Carmona, M. (1996). Effect of somatic cell count on lactation and soft cheese yield by dairy goats. *Small Ruminant Research* **21**, 251-257.
- Gonzalez-Tomas, L., and Costell, E. (2006). Sensory evaluation of vanilla-dairy desserts by repertory grid method and free choice profile. *Journal of sensory studies* **21**, 20-33.
- Gonzalez Vinas, M., Esteban, E., and Cabezas, L. (1999). Physico-chemical and sensory properties of Spanish ewe milk cheeses, and consumer preferences. *Milchwissenschaft* **54**, 326-329.
- González Viñas, M., Garrido, N., and Wittig De Penna, E. (2001). Free choice profiling of Chilean goat cheese.
- Gower, J. C. (1975). Generalized procrustes analysis. *Psychometrika* **40**, 33-51.
- Grandison, A. S., and Ford, G. D. (1986). Effects of variations in somatic cell count on the rennet coagulation properties of milk and on the yield, composition and quality of Cheddar cheese. *Journal of Dairy Research* **53**, 645-655.
- Grappin, R., and Coulon, J. (1996). Terroir, lait et fromage: éléments de réflexion. *Rencontres Recherches Ruminants* **3**, 21-28.
- Grosclaude, F. (1988). Le polymorphisme génétique des principales lactoprotéines bovines. Relations avec la quantité, la composition et les aptitudes fromagères du lait. *Productions animales* **1**, 5-17.
- Hort, J., and Le Grys, G. (2001). Developments in the textural and rheological properties of UK Cheddar cheese during ripening. *International Dairy Journal* **11**, 475-481.
- Hulin-Bertaud, S., Kilcawley, K., Wilkinson, M., and Delahunty, C. (2000). Sensory and compositional relationships between commercial Cheddar-flavored enzyme-modified cheeses and natural Cheddar. *Journal of Food Science* **65**, 1076-1082.
- IDF (1997). Standard 99C: Sensory Evaluation of Dairy Products by Scoring International Dairy Federation, Brussels.
- Ishii, R., and O'Mahony, M. (1987). Taste sorting and naming: can taste concepts be misrepresented by traditional psychophysical labelling systems? *Chemical senses* **12**, 37-51.
- ISO 13299 (2003). Sensory analysis - Methodology - General guidance for establishing a sensory profile.
- ISO 13299 (2016). (n.d.). Analyse sensorielle – Méthodologie – Directives générales pour l'établissement d'un profil sensoriel.
- ISO (1983a). Sensory Analysis, Methodology, Paired Comparison Test. International Organization for Standardization Geneva.
- ISO (1983b). Standard 4120: Sensory Analysis, Methodology, Triangular Test. International Organization for Standardization, Geneva.
- ISO (1988). Standard 8587: Sensory Analysis, Methodology, Ranking. Organization for Standardization, Geneva.
- ISO (1991). Standard 10339: Sensory Analysis, Methodology, Duo-trio Test. International Organization for Standardization, Geneva.

- Issanchou, S., Schlich, P., and Lesschaeve, I. (1992). Carte sensorielle d'eaux gazeuses: une application du vocabulaire libre et de l'analyse procustéenne. *Industries alimentaires et agricoles* **109**, 181-186.
- Keskin, S., Kor, A., and Karaca, S. (2012). Evaluation of sensory characteristics of sheep and goat meat by Procrustes Analysis. *Czech Journal of Animal Science* **57**, 516-521.
- Kirkmeyer, S. V., and Tepper, B. J. (2003). Understanding creaminess perception of dairy products using free-choice profiling and genetic responsivity to 6-n-propylthiouracil. *Chemical senses* **28**, 527-536.
- Kondyli, E., and Katsiari, M. (2001). Differences in lipolysis of Greek hard cheeses made from sheep's, goat's or cow's milk. *Milchwissenschaft* **56**, 444-445.
- Langron, S. (1983). The application of procrustes statistics in foods and beverages. *Sensory quality in foods and beverages*, 89-95.
- Lavit, C., Escoufier, Y., Sabatier, R., and Traissac, P. (1994). The ACT (STATIS method). *Computational Statistics & Data Analysis* **18**, 97-119.
- Lawlor, J. B., and Delahunty, C. M. (2000). The sensory profile and consumer preference for ten speciality cheeses. *International Journal of Dairy Technology* **53**, 28-36.
- Lee, W., and Pangborn, M. (1986). Time-intensity: the temporal aspects of sensory perception. *Food technology (USA)*.
- Li, X., Jervis, S., and Drake, M. (2015). Examining extrinsic factors that influence product acceptance: a review. *Journal of Food Science* **80**, R901-R909.
- Linden, G., and Chamba, J.-F. (1994). La typicité des fromages: une réalité, un objectif. *Sciences des aliments* **14**, 573-580.
- Lollo, P. C. B., Morato, P. N., Moura, C. S., Almada, C. N., Felicio, T. L., Esmerino, E. A., Barros, M. E., Amaya-Farfan, J., Sant'Ana, A. S., Raices, R. R. S., Silva, M. C., and Cruz, A. G. (2015). Hypertension parameters are attenuated by the continuous consumption of probiotic Minas cheese. *Food Research International* **76**, 611-617.
- Maarse, H., and Visscher, C. (1989). Volatile Components in Foods: Qualitative and Quantitative Data. Vol. III. The Netherlands: Centraal Instituut Voor Voedingsonderzoek TNO, Zeist.
- Macheboeuf, D., Coulon, J.-B., and D'Hour, P. (1993). Effect of breed, protein genetic variants and feeding on cows' milk coagulation properties. *Journal of Dairy Research* **60**, 43-54.
- Martin, B., Buchin, S., and Hauwuy, A. (2001). Effet de la nature botanique des pâturages sur les caractéristiques sensorielles du fromage de Beaufort. *I formazzi d'alpeggio e loro tracciabilità, Bella, Italie*, 230-237.
- Martin, B., and Coulon, J. B. (1995). Facteurs de production du lait et caractéristiques des fromages. II. Influence des caractéristiques des laits de troupeaux et des pratiques fromagères sur les caractéristiques du reblochon de Savoie fermier. *Le Lait* **75**, 133-149.
- Martin, B., Pradel, P., and Verdier-Metz, I. (2000). Effet de la race (Holstein/Montbéliarde) sur les caractéristiques chimiques et sensorielles des fromages. *Rencontres autour des recherches sur les ruminants*.
- Meilgaard, M. C., Carr, B. T., and Civille, G. V. (2006). "Sensory evaluation techniques," CRC press.
- Meullenet, J.-F., Xiong, R., and Findlay, C. J. (2008). "Multivariate and probabilistic analyses of sensory science problems," John Wiley & Sons.
- Monnet, J., Berodier, F., and Badot, P. (2000). Characterization and localization of a cheese georegion using edaphic criteria (Jura Mountains, France). *Journal of Dairy Science* **83**, 1692-1704.
- Montet, A. (2001). Les principales méthodes descriptives et leurs variantes. *Traité d'évaluation sensorielle: Aspects cognitifs et métrologiques des perceptions. Urdapilleta I., Ton Nu C., Saint Denis C. et Huon de Kermadec (ed.), Dunod, Paris, France*, 45-60.
- Munoz, A. M., and Civille, G. V. (1998). Universal, product and attribute specific scaling and the development of common lexicons in descriptive analysis *Journal of sensory studies* **13**, 57-75.
- Munro, G. L., Grieve, P., and Kitchen, B. (1984). Effects of mastitis on milk yield, milk composition, processing properties and yield and quality of milk products. *Australian Journal of Dairy Technology* **39**, 7.

- Murray, J., and Delahunty, C. (2000). Mapping consumer preference for the sensory and packaging attributes of Cheddar cheese. *Food Quality and Preference* **11**, 419-435.
- Murray, J., Delahunty, C., and Baxter, I. (2001). Descriptive sensory analysis: past, present and future. *Food Research International* **34**, 461-471.
- Narain, C., Paterson, A., and Reid, E. (2004). Free choice and conventional profiling of commercial black filter coffees to explore consumer perceptions of character. *Food Quality and Preference* **15**, 31-41.
- Nielsen, R. G., Zannoni, M., Bérodiér, Lavanchy, P., Lorenzen, P., Muir, D., and Sivertsen, H. (1998). Progress in developing an international protocol for sensory profiling of hard cheese. *International Journal of Dairy Technology* **51**, 57-64.
- O'Keefe, A. (1984). Seasonal and lactational influences on moisture content of Cheddar cheese. *Irish Journal of Food Science and Technology*, 27-37.
- O'mahony, M., Rothman, L., Ellison, T., Shaw, D., and Buteau, L. (1990). Taste descriptive analysis: concept formation, alignment and appropriateness. *Journal of sensory studies* **5**, 71-103.
- Peay, E. R. (1988). Multidimensional rotation and scaling of configurations to optimal agreement. *Psychometrika* **53**, 199-208.
- Pereira, E. P. R., Cavalcanti, R. N., Esmerino, E. A., Silva, R., Guerreiro, L. R. M., Cunha, R. L., Bolini, H. M. A., Meireles, M. A., Faria, J. A. F., and Cruz, A. G. (2016). Effect of incorporation of antioxidants on the chemical, rheological, and sensory properties of probiotic petit suisse cheese. *Journal of Dairy Science* **99**, 1762-1772.
- Peryam, D. (1952). Girardot NF: Advanced taste test method. *Food Engineering* **24**, 58-61.
- Pineau, N. (2006). La performance en analyse sensorielle, une approche base de données.
- Pirisi, A., Piredda, E., Podda, F., Pintus, S., and Rubino, R. (1996). Effect of somatic cell count on sheep milk composition and cheesemaking properties. *EAAP Publication (Italy) eng no. 77*.
- Pirisi, A., Piredda, G., Corona, M., Pes, M., Pintus, S., and Ledda, A. (2000). Influence of somatic cell count on ewe's milk composition, cheese yield and cheese quality. In "Proceedings of Great Lakes Dairy Sheep Conference".
- Rétiveau, A., Chambers, D. H., and Esteve, E. (2005). Developing a lexicon for the flavor description of French cheeses. *Food Quality and Preference* **16**, 517-527.
- Rodrigues, S., and Teixeira, A. (2014). Effect of breed and sex on pork meat sensory evaluation.
- Rogers, N., Drake, M., Daubert, C., McMahon, D. J., Bletsch, T., and Foegeding, E. (2009). The effect of aging on low-fat, reduced-fat, and full-fat Cheddar cheese texture. *Journal of Dairy Science* **92**, 4756-4772.
- Ronningen, K. (1965). Causes of variation in the flavour intensity of goat milk. *Acta Agriculturae Scandinavica* **15**, 301-342.
- Ropars, J., López-Villavicencio, M., Snirc, A., Lacoste, S., and Giraud, T. (2017). Blue cheese-making has shaped the population genetic structure of the mould *Penicillium roqueforti*. *PLOS ONE* **12**, e0171387.
- Shamil, S., Wyeth, L. J., and Kilcast, D. (1991). Flavour release and perception in reduced-fat foods. *Food Quality and Preference* **3**, 51-60.
- Skjevdal, T. (1979). Flavour of goat's milk: a review of studies on the sources of its variations. *Livestock Production Science* **6**, 397-405.
- Stampanoni, C. R. (1993a). Influence of acid and sugar content on sweetness, sourness and the flavour profile of beverages and sherbets. *Food Quality and Preference* **4**, 169-176.
- Stampanoni, C. R. (1993b). The quantitative flavor profiling technique. *Perfumer & flavorist* **18**, 19-24.
- Stampanoni, C. R. (1993c). Quantitative flavour profiling: An effective tool in flavour perception. *Food and Marketing Technology* **2**, 4-8.
- Stampanoni, C. R. (1994). The use of standardized flavor languages and quantitative flavor profiling technique for flavored dairy products. *Journal of sensory studies* **9**, 383-400.
- Stone, H., Sidel, J., Oliver, S., Woolsey, A., and Singleton, R. C. (2008). Sensory evaluation by quantitative descriptive analysis. *Descriptive Sensory Analysis in Practice* **28**, 23-34.
- Sutton, J. (1989). Altering milk composition by feeding. *Journal of Dairy Science* **72**, 2801-2814.

- Ten Berge, J. M. (1977). Orthogonal Procrustes rotation for two or more matrices. *Psychometrika* **42**, 267-276.
- Tomic, O. (2014). Differences between generalised procrustes analysis and multiple factor analysis in case of projective mapping, Norwegian University of Life Sciences.
- Toso, B., and Stefanon, B. (2001). Effect of ration composition on sensory properties of matured Montasio cheese [Friuli-Venezia Giulia]. *Scienza e Tecnica Lattiero Casearia (Italy)*.
- Urbach, G. (1990). Effect of feed on flavor in dairy foods. *Journal of Dairy Science* **73**, 3639-3650.
- 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* **48**, 893-908.
- Verdier-Metz, I., COULON, J.-B., Pradel, P., Viallon, C., and BERDAGUÉ, J.-L. (1998). Effect of forage conservation (hay or silage) and cow breed on the coagulation properties of milks and on the characteristics of ripened cheeses. *Journal of Dairy Research* **65**, 9-21.
- Verdier, I., Coulon, J. B., Pradel, P., and Berdagué, J. (1995). Effect of forage type and cow breed on the characteristics of matured Saint-Nectaire cheeses. *Le Lait* **75**, 523-533.
- Vioque, M., Gómez, R., Sánchez, E., Mata, C., Tejada, L., and Fernández-Salguero, J. (2000). Chemical and microbiological characteristics of ewes' milk cheese manufactured with extracts from flowers of *Cynara cardunculus* and *Cynara humilis* as coagulants. *Journal of agricultural and food chemistry* **48**, 451-456.
- Wadhvani, R., and McMahon, D. (2012). Color of low-fat cheese influences flavor perception and consumer liking. *Journal of Dairy Science* **95**, 2336-2346.
- Wakeling, I. N., Raats, M. M., and MacFIE, H. J. (1992). A new significance test for consensus in generalized procrustes analysis. *Journal of sensory studies* **7**, 91-96.
- Warmke, R., Belitz, H.-D., and Grosch, W. (1996). Evaluation of taste compounds of Swiss cheese (Emmentaler). *Zeitschrift für Lebensmittel-Untersuchung und Forschung* **203**, 230-235.
- Williams, A., and Langron, S. (1983). new approach to sensory profile analysis. *Flavour of distilled beverages: origin and development/editor, JR Piggott*.
- Williams, A. A., and Langron, S. P. (1984). The use of free-choice profiling for the evaluation of commercial ports. *Journal of the Science of Food and Agriculture* **35**, 558-568.
- Wu, W., Roberts, S., Armitage, J., Tooke, P., Cordingley, H., and Wildsmith, S. (2003). Validation of consensus between proteomic and clinical chemistry datasets by applying a new randomisation F-test for generalised procrustes analysis. *Analytica Chimica Acta* **490**, 365-378.
- Xiong, R., Blot, K., Meullenet, J., and Dessirier, J. (2008). Permutation tests for generalized procrustes analysis. *Food Quality and Preference* **19**, 146-155.
- Xu, T., Flapper, J., and Kramer, K. J. (2009). Characterization of energy use and performance of global cheese processing. *Energy* **34**, 1993-2000.
- Yates, M., and Drake, M. (2007). Texture properties of Gouda cheese. *Journal of sensory studies* **22**, 493-506.
- Zachos, T., Politis, I., Gorewit, R. C., and Barbano, D. M. (1992). Effect of mastitis on plasminogen activator activity of milk somatic cells. *Journal of Dairy Research* **59**, 461-467.