



HAL
open science

La complexité sensorielle : définition, création et influence sur les préférences des consommateurs. Application aux desserts frais lactés

Julie Palczak

► To cite this version:

Julie Palczak. La complexité sensorielle : définition, création et influence sur les préférences des consommateurs. Application aux desserts frais lactés. Ingénierie des aliments. Université Paris Saclay (COMUE), 2019. Français. <NNT : 2019SACLA032>. <tel-03542107>

HAL Id: tel-03542107

<https://pastel.hal.science/tel-03542107v1>

Submitted on 25 Jan 2022

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire HAL, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



HAL Authorization

La complexité sensorielle : définition, création et influence sur les préférences des consommateurs

Application aux desserts frais lactés

Thèse de doctorat de l'Université Paris-Saclay
préparée à AgroParisTech

École doctorale n°581 : Agriculture, Alimentation, Biologie,
Environnement et Santé (ABIES)
Spécialité de doctorat : Science des Aliments

Thèse présentée et soutenue à Massy, le 6 Décembre 2019, par

Julie PALCZAK

Composition du Jury :

Pierre Giampaoli

Professeur, AgroParisTech, Paris, France

Président

Ronan Symoneaux

Chargé de Recherche (HDR), ESA, Angers, France

Rapporteur

Erminio Monteleone

Professeur, UniFi, Florence, Italie

Rapporteur

Jeannette Nuessli Guth

Maître de Conférences, EPFZ, Zurich, Suisse

Examineur

Julien Delarue

Maître de Conférences (HDR), AgroParisTech, Paris, France

Directeur de thèse

David Blumenthal

Maître de Conférences, AgroParisTech, Paris, France

Co-Encadrant de thèse

Remerciements

C'est avec beaucoup d'émotions que je m'attèle à la rédaction de ces quelques lignes de remerciements. Elles marquent en effet la fin de trois belles années de recherche et le début de nouvelles choses. Si ce travail a été possible c'est notamment parce que j'ai eu la chance d'être entourée de personnes inspirantes et bienveillantes à qui je souhaiterais dire merci.

Je tiens en premier lieu à remercier mes directeurs de thèse, Julien Delarue et David Blumenthal. Julien, merci pour ta disponibilité et tes conseils précieux qui m'ont permis de grandir pendant cette thèse ; merci également pour ta sérénité et ton soutien. David, merci pour ta pédagogie et ta patience face à mes problèmes de programmation et à mes questions statistiques ; merci également pour toutes nos discussions qui m'ont permis de voir au-delà de mes desserts et de mon travail. Enfin, merci à tous les deux pour m'avoir poussée à toujours donner le meilleur de moi-même (même si ce fût difficile au début). Grâce à vous je sais désormais ce que je suis capable de réaliser et je vous en suis reconnaissante.

Je tiens également à remercier Laure Scoutelis et Delphine Arranz pour leur accompagnement et leur encadrement. Laure, merci pour ta disponibilité, ton soutien et ta bienveillance. Delphine, merci d'avoir accepté de reprendre le flambeau pour ma dernière année de thèse ; merci pour la confiance que tu m'as donnée et tous tes conseils. Enfin, merci à toutes les deux pour avoir toujours cru en moi et pour avoir défendu mon travail afin de débloquer les budgets nécessaires à mes expérimentations. Merci également pour m'avoir aidée à m'épanouir professionnellement.

Toute ma gratitude va également aux personnes qui ont rendu ce travail possible. Marie-Agnès Beetschen, Michel Rogeaux et Nathalie Boireau : merci pour votre confiance et votre aide dans la conception et la mise en place de ce projet. Michel, merci pour ta patience et ton regard avisé. Nathalie, merci pour ta générosité et nos discussions très enrichissantes lors de l'écriture de ce projet.

Je remercie également sincèrement les membres de mon jury, Ronan Symoneaux, Erminio Monteleone, Jeannette Nuessli Guth et Pierre Giampaoli. Thank you for your careful reading of my manuscript, for our precious discussions during my defense and for all your sympathy. Merci également aux membres de mon comité de thèse, Lionel Jouffe et Anna Fenko.

Je souhaiterais également dire merci à tous les passionnés que le destin a mis sur mon chemin et qui m'ont donné envie de me lancer dans un projet de thèse. Philippe Courcoux, Marion Guilloux, Anaïs Talbot et Isabelle Boutrolle, merci pour m'avoir fait apprécier notre belle science et pour m'avoir donné envie d'aller voir plus loin.

Je voudrais également remercier très chaleureusement toute l'équipe UX. J'ai tellement eu de chance de travailler à vos côtés ! Elo merci pour tes talents infinis et pour ta bonne humeur infaillible. Cédric, Clothilde, merci pour vos conseils de grands et merci pour m'avoir motivée et accompagnée à la salle de sport (mon corps bientôt tonique vous remercie également). Guillaume, Anne-Laure, Sébastien, Marthe, Alex, Aukje, merci pour votre temps, merci pour votre oreille bienveillante et merci pour tous ces moments passés ensemble. Léa, Chloé, Morgane, merci pour votre soutien, merci pour toutes vos attentions et pour nos repas qui m'ont mis du baume au cœur. Julie (from Danone), merci pour m'avoir présenté ton réseau très secret et merci pour tes conseils. I would like also to thank the UX team in Utrecht for their suggestions and support during congresses (Manon, you are the best cheerleader!). Victoire, Cécile, Anne-Sophie, merci infiniment pour tous nos échanges et pour toute la confiance que vous m'avez accordée. Je tenais également à remercier profondément Guillaume, Clothilde et Léa pour le temps passé à la relecture de ce manuscrit.

Merci également à mes amis qui m'accompagnent depuis plusieurs années et que j'ai un peu délaissé ces derniers mois. Jade, Lulu, Jess, Bastou, Flav, Tomy et les autres, merci pour votre soutien (loin des yeux mais près du cœur) : je tenais à vous dire que je suis heureuse de vous avoir. Merci à ma famille Danone qui malgré les changements de poste a toujours été là. Florie, Odile, Barbara, Nina, Pauline, Guilhem, merci pour tous ces supers moments passés ensemble. Merci également à la joyeuse bande de thésards d'AgroParisTech de m'avoir si bien accueillie, accompagnée, conseillée et écoutée. Jeehyun, Mathieu, Benoit, Laurena, Anne Flore, Marine, Cassandre, Valérie, vous êtes de belles personnes.

Je voudrais également remercier l'équipe HAP et surtout toutes les personnes qui ont su mettre de l'ambiance dans ce laboratoire parfois un peu vide. Eugénie, merci pour ton humour et ton énergie ; sache que tu resteras ma meilleure partenaire de bureau. Hakyoun, Maëlle, Carole, je vous donne toute ma force pour la fin de vos doctorats, croyez en vous !

Je tenais également à adresser mes sincères remerciements au Pr Allez pour s'être si bien occupé de moi. L'un de va pas sans l'autre, mais merci également à Crohn de m'avoir laissée tranquille pendant ces trois années.

Plus que des remerciements je tenais à exprimer mon amour et ma gratitude pour ma famille et mes parents. Papa, maman, merci pour tout ce que vous m'avez appris, merci pour avoir toujours été là pour moi, et pour être les meilleurs parents du monde. Merci également à mes grands-parents pour tout ce qu'ils m'ont transmis et pour leur fierté qui me touche profondément.

Enfin, Thibaud, je sais que tu voulais au moins une page de remerciements rien que pour toi, mais j'espère que ces quelques lignes suffiront à exprimer à quel point tu as été essentiel. Merci pour ta patience et ton soutien infini. Merci pour m'avoir trouvé des idées de rêves pour toutes ces nuits d'insomnies où seule ma thèse animait mes pensées. Merci pour m'avoir aidée à contrôler mes peurs, pour m'avoir donné confiance en moi et pour m'avoir rassurée dans mes moments de doute. Merci pour toujours t'être si bien occupé de moi. Merci pour tous ces moments passés ensemble et pour tous ceux à venir ...

Encore merci à tous, je suis chanceuse de vous avoir autour de moi.

Sommaire

LISTE DES FIGURES	IX
LISTE DES TABLEAUX.....	XIII
LISTE DES ABREVIATIONS	XV
PUBLICATIONS ET COMMUNICATIONS.....	XVI
AVANT-PROPOS	XVII
RESUME EN FRANÇAIS	XX
RESUME EN ANGLAIS.....	XXI
LE GARGOUILLOU DE JEUNES LEGUMES	XXIII
CONTEXTE.....	XXV

CHAPITRE 1 : ÉTAT DE L'ART.....	1
Première partie : Les caractéristiques sensorielles pour comprendre les préférences	2
1. Être capable de décrire et quantifier les caractéristiques sensorielles.....	4
2. Être capable d'identifier les caractéristiques sensorielles importantes pour les consommateurs.....	11
3. A la recherche d'autres caractéristiques importantes pour le consommateur.....	15
Deuxième partie : La complexité, une dimension au caractère hédonique, collatif, multimodal et polysémique.....	22
1. Le caractère collatif et hédonique de la complexité	24
2. Le caractère multimodal de la complexité.....	27
3. Le caractère polysémique de la complexité.....	37
Troisième partie : La complexité sensorielle et son influence sur les réponses hédoniques, revue méthodique des applications dans l'alimentation les boissons	42
1. Introduction	44
2. Literature Search	46
3. Perceived Sensory Complexity.....	47
4. The effect of complexity on consumers' hedonic response.....	57
5. Conclusion and Outlook	64
 PROBLEMATIQUE	 67
 CHAPITRE 2.....	 73
Comment des chefs cuisiniers et des chefs pâtisseries mettent en œuvre de la complexité sensorielle ?	
1. Introduction	76
2. Materials and Methods.....	79
3. Results.....	83
4. Discussion.....	94
5. Conclusion.....	96
 CHAPITRE 3.....	 99
Du comportement de consommation à la mesure sensorielle, caractérisation sensorielle de la complexité aromatique perçue lors de la consommation d'un dessert au chocolat	
1. Introduction	102
2. Materials and Methods.....	104
3. Results.....	110
4. Discussion and conclusion.....	117

CHAPITRE 4.....	123
Influence de la complexité sensorielle sur les préférences pour de nouveaux desserts laitiers gourmands	
1. Introduction.....	126
2. Materials and Methods.....	127
3. Results.....	133
4. Discussion.....	140
5. Conclusion.....	144
DISCUSSION GENERALE ET PERSPECTIVES	147
BIBLIOGRAPHIE.....	165
POSTERS.....	187
ANNEXES.....	195

Liste des Figures

Figure 1. Le gargouillou de jeunes légumes, plat signature du chef Michel Bras.	23
Figure 2. Deux rayons des desserts ultra frais indulgents pris en photo en Juillet 2019 : les desserts pâtisseries et les desserts laitiers.....	27
Figure 3. Facteurs d'influence des comportements de consommation et des choix alimentaire (Adapté de Koster, 2009).....	15
Figure 4. Illustrations de produits alimentaires où le terme complexité est utilisé en description ...	20
Figure 5. Courbe de Wundt montrant l'influence de l'intensité d'un stimulus sur l'appréciation.....	25
Figure 6. Courbe en U-inversé reliant la complexité à sa réponse hédonique suggérée par Berlyne en 1971.....	26
Figure 7. Courbe en U-inversé proposé par Berlyne (trait plein) et son déplacement sous l'influence de l'exposition (trait pointillé, Phénomène ①). Les Phénomènes ② et ③ représentent l'effet de l'exposition sur la familiarité et sont respectivement appelées la Théorie de simplex exposition (Zajonc 1968) et la Théorie de l'ennui (Walker, 1980)	27
Figure 8. Extrait des partitions de Préludes and Fugues N°1 de Bach (A) and que Piano Sonata N°1 de Boulez (B).....	28
Figure 9. Motifs utilisés par Berlyne pour étudier l'influence de la complexité dans ses expérimentations selon les 5 composantes (Berlyne, 1960).....	29
Figure 10. Exemple d'un algorithme mis en place pour estimer la complexité visuelle d'une œuvre d'art : (a) œuvre d'origine, (b)(c)(d) étapes utilisées par l'algorithme (Guo et al., 2018)	30
Figure 11. Exemple des tableaux de bord utilisés par Lee et al. (2019) pour comprendre l'influence de la complexité visuelle sur les comportements de conduite (la première ligne correspondant à des tableaux de bord de forte complexité visuelle, celle du bas à des.....	31
Figure 12. Représentation schématique des stratégies de perception des mélanges olfactifs (inspiré de Thomas-Danguin et al., 2014).....	34
Figure 13. Le « fruit à la viande » (« Meat Fruit ») par le chef Heston Blumenthal.....	37
Figure 14. Veggie Mandala, proposé par le chef René Redzepi au Noma (Copenhague).....	39

Figure 15. Literature search process used to select papers studying the relation between complexity and a hedonic measure between 1970 and 2017	47
Figure 16. Patterns used by Berlyne et al. (1965) for experiments (A) and the scale used by Meillon et al. (2010).....	51
Figure 17. Questionnaire developed by Medel et al. (2009) to study the sensory complexity of wine	52
Figure 18. Schéma des questions de recherche et enjeux scientifiques (adapté de Hassenzahl, 2001)	70
Figure 19. Two desserts illustrating complexity in the culinary world – (A) The Vanilla Pecan Eclair (Chef Christophe Adam), (B) The Ispahan Macaron (by Chef Pierre Hermé).....	77
Figure 20. Steps used in the study	79
Figure 21. Caption used to characterize each verrine	82
Figure 22. Sensory characterization for the PC3 triad	85
Figure 23. Link between designed complexity and the number of major/secondary/subtle notes perceived in the product (\nearrow increase, \searrow decrease, \leftrightarrow no link)	87
Figure 24. The verrine trio around lemon designed by PC4. Texture attributes are generated by consensus and ranked according to their ‘intensities’. Attributes in bold are ‘crunch’ textures, others are ‘soft’ textures.....	89
Figure 25. Verrines proposed by Pastry Chef 3 illustrating the importance of texture for designing aftertaste.....	91
Figure 26. C+ verrine proposed by Pastry Chef 5, composed of five different layers to create a high perceived complexity.....	92
Figure 27. C+ verrine proposed by Pastry Chef 3 around chocolate, illustrating the insert technique to surprise the consumer	93
Figure 28. Study process	104
Figure 29. Products used in the two experiments.....	105
Figure 30. Eating patterns developed to evaluate bi-layered products.....	108
Figure 31. Eating patterns observed in a meal context (A) and in sensory booths (B) for the 32 participants.....	111
Figure 32. Representation of the products of the PCA performed on the table of averages of the assessors by ProductSpoon and by descriptor. Mousse-mousse points are in red, mousse-cream	

points are in brown while cream-coulis points are in yellow. Four sensory paths are drawn with black arrows and with spoon icons. Asterisks indicate spoons composed of identical layers.....	113
Figure 33. BoxPlots of perceived complexity for each product. Boxplots with different letters differ significantly at $p < 0.05$ (LSD test)	114
Figure 34. Results of hierarchical cluster analysis on normalized perceived complexity scores with average scores of perceived complexities for each cluster and each product. For each cluster, definitions of perceived complexity given by panellists and used for their evaluation.....	115
Figure 35. Example extracted from panellist 6 for the MC1 and CC2 products. Panellist 6 evaluated the perceived complexity at 0.5 for MC1 product and 9.7 for CC2 product. On the left-hand side, Criterion A (the maximum number of salient attributes) is 3 for MC1 and 4 for CC2. On the right-hand side, Criterion B (the fluctuation of dominant attributes) is 2 for MC1 and 4 for CC2.....	116
Figure 36. Evaluation procedure followed during the consumer test.....	129
Figure 37. Eating pattern used to evaluate desserts.....	130
Figure 38. Data analysis procedure for consumer data.....	132
Figure 39. Results of k-means cluster analysis on perceived complexity scores with boxplots for each cluster and each dessert (A). For each group obtained, boxplot of liking scores per product (B). Boxplots with different letters differ significantly at $p < 0.05$	134
Figure 40. Representation of the products of the PCA performed on the table of averages of the panelists by product*spoonful and by descriptor. Spoon icons are used to represent each product*spoonful pair. Seven sensory paths are drawn with arrows to highlight the sensory evolution between spoonfuls S1-S2-S3 for each product	136
Figure 41. Hypothetical explanation of group 2 and group 3 results in the frame of Berlyne Theory. Group results are superimposed on a virtual inverted U-curve.....	143
Figure 42. Définitions des différents types de complexité observés pendant cette thèse.....	149
Figure 43. Boîtes à moustache réalisées sur les scores de complexité attribués aux produits utilisés dans le Chapitre 4 par l'ensemble des consommateurs interrogés (N=145).....	150
Figure 44. Stratégies de présentation utilisées en Chapitres 3 et 4.....	158
Figure 45. Boîtes à moustache obtenues sur les scores de complexité des consommateurs appartenant au groupe 3.....	159
Figure 46. Structure des données obtenue avec un Profil Séquentiel sur 4 cuillères et k descripteurs	160

Liste des Tableaux

Tableau 1. Méthodologies permettant la description et la quantification des caractéristiques sensorielles d'un produit	10
Tableau 2. Liste (non exhaustive) des dimensions subjectives étudiées dans la littérature, suite à leur utilisation par des consommateurs.....	17
Tableau 3. Études publiées sur la complexité olfactive et aromatique du vin.....	33
Tableau 4. All 55 publications from between 1970 and 2017 on complexity in the fields of food, beverages, and cosmetic.....	48
Tableau 5. Overview of studies where products are designed for their complexity.....	54
Tableau 6. Overview of studies where products are selected for their complexity.....	55
Tableau 7. Overview of studies where products were neither designed nor chosen for their complexity.....	56
Tableau 8. Food studies on the link between complexity and hedonic response between 1970 and 2017.....	57
Tableau 9. Beverage studies on the link between complexity and hedonic response between 1970 and 2017.....	58
Tableau 10. Cosmetics studies on the link between complexity and hedonic response between 1970 and 2017.....	58
Tableau 11. Overview of the relations observed in the experiments.....	59
Tableau 12. Overview of the relations observe with qualitative interpretation of experimentations	60
Tableau 13. Overview of the participants' characteristics for the different studies (only participants who evaluated the product complexity are included).....	63
Tableau 14. Characteristics of the culinary and pastry chefs who participated to the study.....	80
Tableau 15. Topics and questions asked during the interview	81
Tableau 16. Technical parameters for all triads. Superscript letters denote significant differences ($p < 0.05$) between C-/C/C+ products using LSD post-hoc analysis (C-: Low complexity, C: Medium complexity, C+: high complexity).....	84

Tableau 17. Results of perceived complexity evaluation. Superscript letters denote significant differences ($p < 0.05$) between C-/C/C+ products using LSD post-hoc analysis (C-: Low complexity, C: Medium complexity, C+: high complexity)	86
Tableau 18. Principles used by chefs to design complexity and number of participants citing dimensions of complexity	86
Tableau 19. Detail of the 8 desserts used in Experiment 2.....	106
Tableau 20. List of sensory attributes and their definitions	107
Tableau 21. Results of the 3-way ANOVA for all descriptors.....	112
Tableau 22. Pearson correlation coefficients per panellist between scores of perceived complexity and scores for criterion A and criterion B (significant correlations at the 10% threshold appear in bold).....	116
Tableau 23. Gourmet desserts selected for the study.....	128
Tableau 24. Attribute list used for the sequential profiling	130
Tableau 25. Frequency of use of each attribute (CATA). p-values are from Cochran's Q test performed on each attribute and in each group. Significant p-values at 5% threshold are in bold	135
Tableau 26. Relationship between perceived complexity and liking scores observed per group	135
Tableau 27. Percentage of consumers for different individual usage and characteristics per subgroup. In bold, frequency significantly different (χ^2 , $p < 0.05$)	137
Tableau 28. Summary of different intrinsic parameters for each product. Perceived complexity mean scores for each group and for the whole study population.....	139
Tableau 29. Suite à nos travaux, caractéristiques sensorielles identifiées comme susceptibles d'influencer la perception de complexité sensorielle	151

Liste des Abréviations

QDA : Quantitative Descriptive Analysis

CATA : Check All That Apply

RATA : Rate All That Apply

TI : Time Intensity – Temps Intensité

MATI : Multiple Attributes Time Intensity / Multi-Attributs Temps-Intensité

TDS/DTS : Temporal Dominance of Sensations / Dominance Temporelle des Sensations

TCATA : Temporal Check All That Apply

IVDM : Intensity Variation Descriptive Methodology

Publications et Communications

Publications dans des revues internationales à comité de lecture

- Palczak, J., Blumenthal, D., Rogeaux, M., & Delarue, J. (2019). Sensory complexity and its influence on hedonic responses: A systematic review of applications in food and beverages. *Food Quality and Preference*, 71, 66–75.
- Palczak, J., Blumenthal, D., & Delarue, J. (2019). From consumption behaviour to sensory measurement: Sensory characterization of the perceived flavour complexity of a chocolate dessert experience. *Food Quality and Preference*, 78.
- Palczak, J., Giboreau A., Rogeaux M., & Delarue, J. (2020). How do pastry and culinary chefs design sensory complexity? *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 19.
- Palczak, J., Blumenthal, D., & Delarue, J. (2020). Influence of sensory complexity on preferences for novel gourmet dairy desserts. Does Berlyne's Theory apply to desserts? *Food Quality and Preference*, In Press

Communications et participations à des congrès

Communications orales

- Palczak, J., Blumenthal, D., & Delarue, J. (2018). From consumption behavior to sensory measurement: sensory characteristics of a full chocolate dessert experience. In 8th European Conference on Sensory and Consumer Research, 2-4 September 2018, Verona, Italy.
- Palczak, J., Blumenthal, D., & Delarue, J. (2018). Development of a sensory descriptive method close to a real consumer consumption behavior. In MOA Symposium - Sensory for Business, 6 November 2018, Utrecht, The Netherlands
- Palczak, J., Giboreau, A., Patois, C., Rogeaux, M., & Delarue, J. (2019). How do pastry and culinary chefs design sensory complexity? In 13th Pangborn Sensory Science Symposium, 28 July - 1 August 2019, Edimburgh, Scotland.

Communications affichées

- Palczak, J., Romagny, S., Blumenthal, D., Rogeaux, M., & Delarue, J. (2017). A critical review on the effect of complexity on consumers' preferences. In In 12th Pangborn Sensory Science Symposium, 20-24 August 2017, Providence, USA.
- Palczak, J., Delarue, J., & Blumenthal, D. (2018). From consumption behavior to sensory measurement: sensory characteristics of a full chocolate dessert experience. In Doctoral Days ABIES, 19-20 April 2018, Paris, France.
- Palczak, J., Blumenthal, D., Rogeaux, M., & Delarue, J. (2019). Gourmet dairy desserts: influence of perceived complexity and sensory characteristics on preferences. In 13th Pangborn Sensory Science Symposium, 28 July - 1 August 2019, Edimburgh, Scotland.

Autres communications

Participation au concours Ma Thèse en 180 secondes – Finale Université Paris Saclay : <https://www.youtube.com/watch?v=0QIGhfQ5y7k&t=49s>

Prix et bourse obtenus pendant la thèse

- Young scientist bursary award in Pangborn 2019
- Student poster award, 2017 (Ecole Doctorale ABIES)

Avant-propos

Ce travail de thèse a été conduit sous le format d'une convention CIFRE (Convention Industrielle de Formation par la Recherche). Sa mise en place est le fruit d'un partenariat entre deux parties : l'équipe *Homme Aliments Procédés* (HAP) rattachée à l'UMR 1145 GENIAL (AgroParisTech et INRA) et l'équipe *User eXperience* de Danone.

L'équipe *Homme Aliments Procédés* a pour objectifs de développer des méthodes innovantes pour la prise en compte de la diversité et de la variabilité des consommateurs. Elle a également pour mission de comprendre les choix et les comportements des consommateurs en prenant en compte les effets de contexte (Boutrolle, Delarue, Arranz, Rogeaux, & Köster, 2007; J. Delarue, Brasset, Jarrot, & Abiven, 2019; Galiñanes Plaza, Delarue, & Saulais, 2018), les facteurs socioculturels et les images renvoyés par le produit (Masson, Delarue, Bouillot, Sieffermann, & Blumenthal, 2016). Enfin, elle développe également des outils de modélisation des consommateurs et des approches multi-facteurs et multicritères pour l'aide à la décision (Masson, Saint-Eve, Delarue, & Blumenthal, 2016; Poirson, Petiot, Boivin, & Blumenthal, 2013). Rattachée à l'école d'ingénieurs en agroalimentaire AgroParisTech, cette équipe travaille principalement sur des produits agroalimentaires mais a étendu ses recherches au domaine de l'automobile et des cosmétiques.

De son côté, l'équipe *User eXperience* est rattachée au département de Recherche et d'Innovation de Danone. Elle se concentre sur la compréhension et l'analyse des expériences utilisateurs : de la capture d'opportunités produit à leur lancement sur le marché. Elle a pour ambition de comprendre les attentes et les besoins des consommateurs, d'assurer la pertinence entre les bénéfices fonctionnels, sensoriels et émotionnels offerts par les produits et d'accompagner le consommateur dans l'utilisation de produits meilleurs pour sa santé. Cette équipe travaille sur l'ensemble des produits du groupe Danone : boissons, produits à base de lait animal et végétal, produits infantiles et produits médicaux.

Résumé en Français

Dans le secteur agroalimentaire, mieux comprendre les préférences des consommateurs représente un enjeu majeur. En analyse sensorielle, les préférences des consommateurs sont généralement modélisées en fonction des caractéristiques sensorielles du produit, obtenues le plus souvent à l'aide de méthodes descriptives. Pour continuer à modéliser de manière efficace et pertinente des produits alimentaires toujours plus complexes et sophistiqués, tels que des desserts bicouches, les méthodologies usuelles doivent être adaptées et de nouvelles dimensions considérées.

Au travers de cette thèse, nous avons choisi d'approfondir les connaissances sur la notion de complexité sensorielle : sa définition, sa mise en œuvre, sa mesure ainsi que son analyse. Une large étude bibliographique sur la complexité nous a permis de mettre en plusieurs propriétés clés : son caractère universel, hédonique, collatif, multimodal et polysémique. Cette étude nous a également permis d'établir des recommandations quant à la mesure et à l'analyse de cette notion. Par ailleurs, la complexité sensorielle étant largement employée pour décrire un vin ou un parfum par des experts de ces deux domaines, nous avons également fait appel à des experts culinaires pour nous aider dans ce travail. Ainsi, une étude qualitative a été menée pour permettre d'affiner la définition ainsi que les stratégies de mise en œuvre de complexité sensorielle dans un produit alimentaire. Enfin, une étude consommateur quantitative a été réalisée dans le but de comprendre l'influence de la complexité sensorielle sur les préférences des consommateurs mettant en perspective la Théorie de Berlyne.

D'un point de vue méthodologique, ce travail fournit également une nouvelle vision de l'analyse sensorielle, plus proche des comportements et des sensations perçues par le consommateur. En parallèle du développement accru des méthodologies temporelles ne reposant que sur l'étude d'une seule cuillère ou d'une seule bouchée, nous proposons d'avoir une approche sensorielle plus holistique. Après avoir observé plusieurs individus en situation réelle de consommation, nous avons choisi d'adapter le Profil Séquentiel afin de capturer l'évolution des sensations perçues au cours de la consommation d'une portion entière. Les profils sensoriels ainsi obtenus ont également contribué à identifier des caractéristiques sensorielles ayant une influence sur la perception de complexité.

Mots clés : Complexité Sensorielle, Préférences, Desserts

Résumé en Anglais

In the food industry, better understand consumers preferences is key. In sensory analysis, consumers preferences are generally explained with the sensory characteristics of the product, most of the time using descriptive methods. To be able to model preferences for more and more complex and sophisticated food products, like bi-layered desserts, in an efficient and relevant way, usual methodologies need to be adapted and new dimensions should be considered.

In this thesis, we chose to deepen the knowledge on the notion of sensory complexity: its definition, its creation, its measurement and its analysis. An extensive state of the art on complexity allowed us to highlight some key properties about complexity: its universal, hedonic, collative, multimodal and polysemous properties. This study also allowed us to establish recommendations regarding the measurement of this notion. Otherwise, we observed that sensory complexity was largely used to describe wines and fragrances by experts. Consequently, we decided to ask for culinary experts to help us in our project. Thus, a qualitative study was conducted to refine the definition of complexity and to determine principles to design food products mastering sensory complexity. A quantitative consumer study was finally carried out to investigate the influence of sensory complexity on consumers' preferences.

From a methodological stand point, this work also provides a new vision about sensory methodologies, closer to a real consumer eating behavior. While more and more temporal methodologies are developed to study the sensory evolution inside a single spoon or a single bite, we propose to have a more holistic sensory approach. Based on an observational study, we decided to adapt the Sequential Profiling to capture the evolution of perceived sensations during the consumption of a whole portion. Furthermore, the sensory profiles obtained helped us to identify sensory characteristics that influence the perception of complexity.

Key words: Sensory complexity, Preferences, Desserts

Contexte

Le rôle de l'analyse sensorielle et de l'étude des consommateurs

Aujourd'hui, environ 50 nouveaux produits de bien de grande consommation arrivent sur le marché tous les jours (Mintel, 2016) et doivent faire face à une compétition acharnée pour gagner leur place sur les rayons. En effet, les tendances et les préférences des consommateurs changent vite, est d'autant plus vite dans le secteur agroalimentaire. Face à des consommateurs exigeants, à la recherche de produits plus naturels, meilleurs pour la santé, et bons pour la planète (The Nielsen Company, 2015), les industriels sont obligés de s'adapter pour trouver des solutions et répondre à leurs attentes. Cependant les produits lancés sur le marché ne trouvent pas toujours leur place et certains finissent par disparaître constituant un taux d'échec entre 70% et 80% (en fonction de l'année et de la source d'information). L'une des raisons de ces échecs peut résider dans le manque d'adéquation entre le produit proposé et les attentes des consommateurs. Souvent les perceptions sensorielles du produit dissonent avec celles attendues par le consommateur, qui finira par rejeter le produit (Lawless & Heymann, 2010). C'est ainsi que le domaine de l'analyse sensorielle et de l'étude des consommateurs a un rôle important à jouer (Talavera & Chambers, 2017).

Contexte industriel : les desserts frais lactés

Les produits laitiers frais sont des produits de très grande consommation. En effet, 98% des foyers français consomment au moins un produit laitier frais par semaine et chaque français consomme en moyenne 20,7 kg de yaourt par an (Charby, Hébel, & Vaudaine, 2017). Cependant ces dernières années, le marché de l'ultrafrais souffre d'un fort taux d'échecs (-1,8% en volume sur 2016 et -1,3% en volume sur 2017 ; en France).

Le modèle de l'ultra-frais construit par Danone et ses concurrents est désormais dépassé. En effet, pendant plusieurs années l'objectif était d'avoir le yaourt avec les plus gros morceaux de fruits, la crème dessert la plus crémeuse et la mousse au chocolat la plus aérée. Aujourd'hui, ces caractéristiques sensorielles ne suffisent plus. Les consommateurs souhaitent des expériences sensorielles plus mémorables. Ainsi, ces dernières années, le rayon de l'ultrafrais s'est fragmenté pour donner naissance à des propositions gustatives plus complexes et conduisant à la création d'une nouvelle catégorie. Il s'agit d'une offre de desserts frais, premiums et gourmands. S'inspirant des classiques de la pâtisserie, ces desserts se rapprochent de l'offre que l'on pourrait retrouver dans un restaurant ou dans une pâtisserie. Cette offre dite 'indulgente', car plus calorique que des produits laitiers usuels, enregistre aujourd'hui une croissance de +1,7% en volume. Elle se compose essentiellement de produit multicouches, avec des inclusions, des coulis, des morceaux, différentes texture de mousse et de crème, des associations aromatiques inhabituelles, etc. (Figure 2).

Cependant pour Danone et particulièrement pour l'équipe User eXperience il est désormais important de connaître et comprendre les attentes ainsi que les préférences des consommateurs vis-à-vis de ces produits.

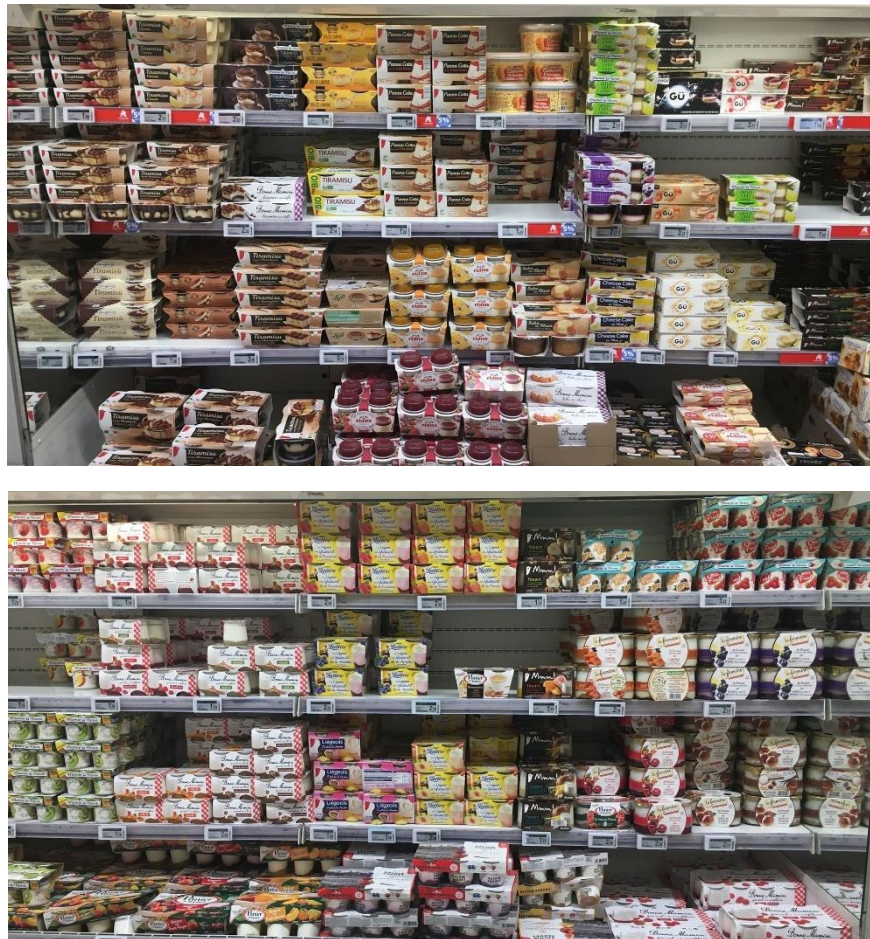


Figure 2. Deux rayons des desserts ultra frais indulgents pris en photo en Juillet 2019 : les desserts pâtisseries et les desserts laitiers

Comprendre les préférences des consommateurs pour ces nouveaux desserts

Préférer manger ce dessert plutôt qu'un autre nous semble de toute évidence très simple, mais est en réalité un comportement bien plus complexe. En raison de leurs valeurs nutritionnelle et fonctionnelle, ces nouveaux desserts impliquent souvent une forte réaction émotionnelle (au moins plus forte qu'avec la plupart des produits laitiers frais réguliers). Ici, l'évaluation du consommateur ne se limite donc pas à son appréciation mais peut également inclure d'autres dimensions relatives à des concepts aux connotations émotionnelles ou fonctionnelles (Thomson, 2010). En effet, certains auteurs ont observé que ces dimensions pouvaient reposer sur de multiples déterminants sensoriels, ainsi que sur des facteurs physiologique, psychologique et social (Bom Frøst & Janhøj, 2007; Labbe, Martin, Le Coutre, & Hudry, 2011). En plus de cela, il semble que ces dimensions portent également une valence hédonique (Masson, Delarue, et al., 2016). Par conséquent, certains auteurs appellent à la prise en compte de ces nouvelles dimensions influençant nos choix alimentaires (Köster & Mojet, 2007). Cependant, ni une description purement sensorielle ni un test hédonique ne peuvent tenir compte de ces percepts. Les dimensions perçues ou projetées du produit sont en réalité subjectives et dépendraient également de l'individu qui les perçoit (Lévy, MacRae, & Köster, 2006)

Ainsi, en plus de comprendre les caractéristiques du produit importantes pour les consommateurs, la mesure de ces dimensions subjectives est donc essentielle pour les entreprises qui visent à mieux comprendre les préférences et le comportement de leurs consommateurs. Pour cela il est important d'avoir des méthodologies sensorielles capable de capturer les perceptions des consommateurs, en plus de mesurer les caractéristiques sensorielles des produits (Paula Varela & Ares, 2012). Il est également nécessaire d'avoir des méthodologies sensorielles proches de l'expérience vécue par le consommateur (Lawless, 1999). Pour cela, l'utilisation d'une méthodologie temporelle nous semble donc primordiale. Ainsi, enquêter sur ces dimensions, leur mesure et leur rôle dans la formation des préférences est l'ambition donnée par cette thèse.

CHAPITRE 1 : État de l'ast

Première partie : Les caractéristiques sensorielles pour comprendre les préférences

Dans certains domaines, les qualités sensorielles d'un produit alimentaire s'évaluent grâce à des experts tels que des brasseurs, des œnologues, des fromagers ou des caféologues : ils jugent la qualité de leurs produits sur différents attributs sensoriels clés. En effet, ces experts ont la connaissance et l'expérience leur permettant de décrire leurs produits et d'estimer leur qualité hédonique. Ils sont également capables de donner des recommandations sur la façon dont les ingrédients ainsi que les procédés de transformation peuvent affecter leurs produits finis. Aujourd'hui, cette manière de fonctionner se retrouve encore souvent dans la gastronomie : le chef pâtissier ainsi que le chef cuisinier sont les garants des qualités sensorielles des produits qu'ils réalisent. Cependant, le marché industriel devenant de plus en plus complexe et rapide, avec un nombre croissant d'ingrédients, de technologies, de produits, de concurrence et donc de choix pour le consommateur, il est devenu nécessaire pour les entreprises de mettre en place des systèmes routiniers d'évaluation des produits.

Avec la mondialisation, le marché a évolué pour devenir très concurrentiel. Les consommateurs sont devenus de plus en plus exigeants face à cette large gamme de choix. Ainsi, pour obtenir un avantage concurrentiel, il est important de répondre aux besoins, aux souhaits et aux désirs des consommateurs. Dorénavant, ce sont les consommateurs qui sont les juges ultimes de la nature du produit et de sa qualité ; comprendre leurs préférences est donc devenu un réel défi (Kemp, 2013). Pour cela, les manières d'évaluer et de décrire les produits ont évolué pour devenir des outils essentiels dans la conception et le développement de produits. Parmi les outils disponibles, on retrouve les méthodologies sensorielles descriptives permettant de décrire les caractéristiques sensorielles des produits. Les données descriptives alors obtenues peuvent être combinées avec des données hédoniques pour déterminer les propriétés sensorielles incitant les consommateurs à aimer un produit (Sidel & Stone, 1983; Wilton & Greenhoff, 1988). Aidées par le progrès technologique, des méthodologies de modélisation statistique rapides et sophistiquées ont été développées rendant ces combinaisons possibles. Un autre moyen a été de mettre en œuvre des méthodes dites 'directes' où il est demandé au consommateur de donner son niveau d'appréciation pour différentes dimensions sensorielles.

Ici, l'objectif sera de comprendre les forces ainsi que les faiblesses de ces méthodologies descriptives sensorielles tout en gardant à l'esprit les attentes liées à la problématique de cette thèse. Ainsi, dans cette première partie, nous verrons que l'analyse sensorielle reste un outil extrêmement flexible, avec un choix très large de méthodes. Nous verrons également les approches possibles pour comprendre et prédire les préférences des consommateurs.

Sommaire

1. Être capable de décrire et quantifier les caractéristiques sensorielles	4
1.1 Les caractérisations statiques	4
1.1.1 Une caractérisation précise et consensuelle en considérant des descripteurs sensoriels	4
1.1.2 Une caractérisation précise et consensuelle en considérant des descripteurs sensoriels mais également des dimensions subjectives	4
1.1.3 Une caractérisation libre, proche des perceptions des consommateurs	5
1.1.4 Une caractérisation maîtrisée, proche des perceptions des consommateurs	6
1.1.5 Une caractérisation libre, d'un groupe de produit, proche des perceptions des consommateurs	6
1.2 Les caractérisations temporelles	7
1.2.1 Une caractérisation de la temporalité des sensations perçues au sein d'une bouchée ou d'une gorgée	7
1.2.2 Une caractérisation de la temporalité des sensations perçues entre différentes portions	8
1.3 Résumé des méthodologies permettant de décrire et quantifier les caractéristiques sensorielles	9
2. Être capable d'identifier les caractéristiques sensorielles importantes pour les consommateurs	11
2.1 Demander au consommateur de justifier son opinion	11
2.2 Demander au consommateur de donner son opinion sur différents critères sensoriels définis	11
2.3 Utiliser des approches pour maîtriser les caractéristiques sensorielles importantes pour les consommateurs	12
2.4 Utiliser des approches de modélisation pour identifier les caractéristiques sensorielles importantes pour les consommateurs	12
2.5 L'enjeux pour de futurs développements	14
3. A la recherche d'autres caractéristiques importantes pour le consommateur	15
3.1 Définition et propriétés des dimensions subjectives	15
3.2 La compréhension et la caractérisation des dimensions subjectives	18
3.3 La place de la complexité	19
3.3.1 La complexité, une notion singulière	19
3.3.2 La complexité, une notion familière	20

1. Être capable de décrire et quantifier les caractéristiques sensorielles

1.1 Les caractérisations statiques

1.1.1 Une caractérisation précise et consensuelle en considérant des descripteurs sensoriels

Traditionnellement, pour décrire et quantifier les caractéristiques sensorielles d'un produit, des méthodes descriptives sont employées. Elles permettent d'établir le profil sensoriel du produit : une image fixe donnant les valeurs moyennes des intensités perçues d'attributs sensoriels spécifiques. Les méthodes les plus courantes sont le *Quantitative Descriptive Analysis* (QDA®) (Stone, Sidel, Oliver, Woolsey, & Singleton, 1974) ainsi que la méthode de *Spectrum* (Meilgaard, Civille & Carr, 1999). Elles consistent en la détection, la description et l'évaluation de caractéristiques sensorielles d'une partie spécifique du produit ; souvent une bouchée ou une gorgée. Les caractéristiques sensorielles étudiées sont appelées descripteurs. Ces derniers doivent être précis, indépendants, consensuels, discriminants et objectifs. Une fois ce vocabulaire mis en place, une phase d'entraînement est nécessaire : chaque descripteur doit être accompagné d'une définition ainsi que de références pour faciliter l'apprentissage des panélistes. Ces deux méthodologies doivent donc être réalisées avec un panel de juges entraînés. Cependant elles sont très coûteuses et nécessitent beaucoup de temps pour être mises en place (Murray, Delahunty, & Baxter, (2001).

Plusieurs caractéristiques de ces méthodes peuvent cependant rendre leurs applications inadaptées pour notre problématique. L'un de leur point faible est lié à l'utilisation de descripteurs précis, indépendants, consensuels, discriminants et objectifs. Les descripteurs choisis doivent se référer à des sensations le moins redondantes possibles, comprises et évaluées de la même manière par l'ensemble des juges. Par exemple, le descripteur 'chocolat noir' et le descripteur 'poire' semblent, à priori répondre à ces critères. Or, rien ne prouve que ceci soit toujours le cas et cela pour plusieurs raisons (Lawless, 1999). En effet, il n'est pas si simple d'avoir des descripteurs indépendants. Prenons l'exemple de l'odeur d'un désodorisant : il ne semble pas déraisonnable de demander à un panéliste de juger l'intensité de la note 'herbe' ou de la note 'verte'. Cependant, malgré un entraînement poussé, il est probable que ces deux notes puissent se chevaucher pour certains produits tellement les odeurs perçues peuvent être compliquées à décrypter (Lawless & Engen, 1977).

1.1.2 Une caractérisation précise et consensuelle en considérant des descripteurs sensoriels mais également des dimensions subjectives

Afin de pouvoir caractériser d'autres dimensions importantes dans une description sensorielle, deux méthodologies ont été développées, le *Flavor Profile* (Cairncross & Sjöström, 1997) et le *A⁵daptive*

Profile Method (Muñoz, 2017). L'avantage principal de ces méthodes est la possibilité de pouvoir utiliser des termes moins techniques et plus holistiques tels que l'équilibre, la rondeur, la richesse ou l'amplitude des sensations. On notera que ces méthodologies permettent également l'inclusion de descripteurs temporels tels que la caractérisation de l'arrière-goût et/ou de l'ordre d'apparition des descripteurs. Cependant, comme les méthodologies précédentes, elles nécessitent beaucoup d'entraînement et sont donc très coûteuses. On peut également souligner que la mise en place d'un entraînement poussé peut éloigner la description des perceptions des consommateurs.

1.1.3 Une caractérisation libre, proche des perceptions des consommateurs

Les cycles de lancement des produits étant toujours plus rapides, les méthodologies précédentes ne permettent pas de répondre aux besoins des industriels en quête de réponses plus instantanées. Comme nous avons pu le voir, l'entraînement des juges est souvent ce qui engendre la plus grande perte de temps. De plus, plusieurs auteurs ont soulevé l'écart qu'il pouvait avoir entre les caractérisations obtenues avec les méthodologies précédentes et les réelles perceptions des consommateurs (Valentin, Chollet, Lelièvre, & Abdi, 2012; Varela & Ares, 2012). Ainsi pour remédier à ce manque, des méthodologies plus proches des perceptions des consommateurs ont été développées.

En effet, le vocabulaire traditionnel utilisé dans les méthodes citées précédemment tend parfois à être très scientifique et compliqué à utiliser pour comprendre les attentes des consommateurs (Jack & Piggott, 1991). Par exemple, un panel entraîné peut être amené à caractériser un yaourt par la présence d'une note acétaldéhyde alors qu'un consommateur, pour le même produit, pourra y percevoir un goût savonneux. Ainsi, des méthodologies ont été mises en place afin de laisser les consommateurs décrire eux-mêmes les caractéristiques sensorielles d'un produit alimentaire. Ils sont donc libres de choisir les mots qu'ils souhaitent utiliser pour caractériser le produit considéré. Cela évite ainsi la recherche de consensus et la limitation sur nombre de descripteurs à évaluer. Il s'agit du *Profile Libre* (Williams & Langron, 1984) et du *Profile Flash* (Sieffermann, 2000). Ces méthodes ne requièrent pas d'entraînement spécifique, elles sont ainsi rapides à mettre en place. Par ailleurs, il a été montré que le vocabulaire généré avec l'aide de ces méthodes est souvent varié, plus holistique et plus subjectif que celui généré par des panélistes (Bech-Larsen & Nielsen, 1999; Lawless & Heymann, 2010). En effet, le vocabulaire peut être multidimensionnel (ex. « harmonieux »), hédonique (ex. « goût agréable ») et personnel (ex. « me rappelle les desserts de ma grand-mère »). Cependant, il arrive que les consommateurs montrent des difficultés à générer du vocabulaire. La méthode de *Repertory Grid* a donc été mise en place pour aider les consommateurs à enrichir leurs descriptions (Monteleone, Raats, & Mela, 1997). Etant donné la richesse des données collectées à l'aide de ces méthodes, elles restent cependant difficiles à interpréter.

1.1.4 Une caractérisation maîtrisée, proche des perceptions des consommateurs

Pour rendre l'analyse plus facile, d'autres méthodes ont été développées en se basant sur une caractérisation maîtrisée. Il s'agit de la méthode *Check All That Apply* (CATA) (Ares, Barreiro, Deliza, Giménez, & Gámbaro, 2010) et de son extension le *Rate All That Apply* (RATA) (Ares et al., 2014). Ces méthodologies, souvent réalisées avec des consommateurs, permettent aux sujets de cocher à partir d'une liste imposée, les attributs étant perçus comme « applicables ». Dans le cas du RATA, les sujets sont également invités à évaluer l'intensité perçue des attributs cochés. Cependant, du fait de leur mise en place rapide, les termes utilisés sont souvent très simples tels que « sucré », « citron » ou encore « chocolat » et ne permettent pas toujours de mettre en avant des différences subtiles entre les produits (Ares, Antúnez, et al., 2015; Reinbach, Giacalone, Ribeiro, Bredie, & Bom Frøst, 2013). De plus, leur analyse repose sur l'accumulation de réponses, ne permettant donc pas une compréhension individuelle des sensations perçues. Ces méthodologies ne semblent donc potentiellement pas très adaptées à notre problématique. Néanmoins, on notera que ces méthodologies permettent également l'utilisation de termes plus subjectifs comme « sophistiqué » ou « artificiel » (Ares, Varela, Rado, & Giménez, 2011).

1.1.5 Une caractérisation libre, d'un groupe de produit, proche des perceptions des consommateurs

Les méthodologies présentées précédemment sont basées sur une description directe du produit. Or, parfois il peut être difficile pour un consommateur de décrire ce qu'il perçoit avec des attributs (Brard & Lé, 2018). Ainsi, des méthodologies ont été développées pour évaluer un produit par rapport à un espace produit défini. Ces approches consistent à demander à un consommateur d'étudier les similarités et les différences sensorielles globales qu'il perçoit au sein d'un ensemble de produits. Le consommateur utilise ses propres critères pour évaluer les produits et n'est pas obligé de spécifier ses critères. Il s'agit du *Tri Libre* (Lawless, 1989), du *Napping* (Pagès, 2003) et du *Projective Mapping* (Risvik, McEwan, Colwill, Rogers, & Lyon, 1994). Cependant, tout comme les méthodes CATA et RATA, les données recueillies sont analysées à l'échelle du panel et non à l'échelle individuelle. Enfin, ces méthodologies entraînent la comparaison des produits entre eux, ce qui limite le nombre de produits à considérer pour de telles tâches (Courcoux, Qannari, & Faye, 2015).

1.2 Les caractérisations temporelles

Bien que dans de nombreux cas, ces mesures statiques pourraient suffire à la caractérisation du ou des produits à étudier, il semble important de garder à l'esprit que la perception d'un aliment n'est pas un processus figé dans le temps. En effet, la perception d'un arôme, d'une odeur ou d'une texture est un phénomène dynamique : l'intensité perçue d'un attribut sensoriel peut changer lorsque l'on mange un aliment. Mâcher, saliver, respirer, mastiquer, avaler sont des actions entraînant des perceptions différentes de certaines propriétés sensorielles (Lawless & Heymann, 1999; Lee & Pangborn, 1986). Ainsi, des méthodes dites 'temporelles' ont été développées permettant de renseigner ce phénomène.

1.2.1 Une caractérisation de la temporalité des sensations perçues au sein d'une bouchée ou d'une gorgée

Les premières méthodes sensorielles temporelles à avoir été développées sont le *Temps-Intensité* (TI) (Lee & Pangborn, 1986) et son extension multi-attributs, le *Multi-Attributs Temps Intensité* (MATI) (Palazzo & Bolini, 2009). L'objectif de ces méthodes est de transmettre l'évolution temporelle d'un attribut (ou de quelques attributs) au cours du temps.

Plus tard, la *Dominance Temporelle des Sensations* (DTS) (Pineau, Cordelle, & Schlich, 2003) a été mise en place et est aujourd'hui, l'une des méthodologies temporelles les plus employées et discutées dans la littérature (Thomas, 2016). Comme son nom l'indique, le principe du DTS est d'identifier des sensations perçues comme dominantes tout au long de la dégustation d'une bouchée ou d'une gorgée (Pineau et al., 2003). Un attribut dominant est défini comme une sensation qui attire l'attention mais qui n'est pas nécessairement la sensation la plus intense (Varela et al., 2017). Cette méthodologie a, par exemple, été utilisée dans la compréhension de certaines dimensions telles que le crémeux (Bruzzone, Ares, & Giménez, 2013) ou la complexité (Meillon et al., 2010). Cependant, certains auteurs ont souligné que la DTS n'était peut-être pas la méthode la plus adaptée pour comprendre et décrire certaines dimensions. En effet, il ne permet pas de renseigner sur la présence de sensations subtiles souvent importantes dans la construction des préférences ainsi que dans la compréhension de concepts telle que la complexité (Paulsen et al., 2013).

Sur le même principe que la méthodologie CATA, le *Temporal Check All That Apply* (TCATA) a été développé pour renseigner de l'évolution des attributs sélectionnés au cours du temps (Castura, Antúnez, Giménez, & Ares, 2016). En effet, elle permet la sélection ainsi que la désélection des attributs au cours du temps. Cependant cette méthodologie n'est pas encore aboutie et présente

les mêmes inconvénients que le CATA. Une autre limite commune au TCATA et à la DTS est que ces méthodologies ne permettent pas une compréhension des perceptions à l'échelle individuelle.

Enfin, il est important de souligner que ces méthodes tendent à s'éloigner des perceptions réelles des consommateurs. Les protocoles de dégustation mis en place contraignent les panélistes à garder le produit en bouche pendant plusieurs secondes et à rendre compte des sensations perçues au cours de quelques minutes. Par exemple, pour l'évaluation d'une cuillère de yaourt, une tâche de TCATA impose un temps d'évaluation par cuillère compris entre 30 et 45 secondes (Alcaire et al., 2017; Ares, Jaeger, et al., 2015; Castura et al., 2016; Esmerino et al., 2017) et la DTS entre 45 et 70 secondes (Ares, Jaeger, et al., 2015; Bouteille et al., 2013; Esmerino et al., 2017; Morais, Pinheiro, Nunes, & Bolini, 2014). De plus, pour ce type de méthodologies et pour des raisons de standardisation, les participants sont souvent amenés à manger le produit d'une certaine manière, à garder le produit en bouche et à l'avaler à un moment défini (Lawless & Heymann, 2010). Tout ceci a bien entendu été mis en place pour assurer une mesure précise (Cadena, Vidal, Ares, & Varela, 2014), mais peut éloigner la caractérisation de ce que perçoit réellement le consommateur au cours d'un épisode de consommation. Enfin, notons également que ces méthodologies ne rendent compte que de l'évolution d'un ou plusieurs descripteurs dans une seule portion (souvent une bouchée ou une gorgée).

1.2.2 Une caractérisation de la temporalité des sensations perçues entre différentes portions

Comme nous avons pu le voir, les méthodologies temporelles citées ci-dessus renseignent sur l'évolution des sensations au sein d'une bouchée ou d'une gorgée (Di Monaco, Su, Masi, & Cavella, 2014). Cependant, lors d'un épisode réel de consommation, les perceptions sensorielles peuvent être modulées par des prises successives (Methven et al., 2010). En effet, il semble plausible que des différences de perceptions existent entre différentes gorgées ou bouchées d'un même produit. Ces différences peuvent s'expliquer par l'accumulation et/ou la persistance de certaines sensations ou par une forme d'adaptation suite à ces expositions répétées (Köster, 2003). De ce fait, certains auteurs se sont intéressés à la mise en place de méthodologies permettant de décrire de manière plus holistique et représentative ce que le consommateur perçoit.

La *Intensity Variation Descriptive Methodology* (IVDM) semble être la première méthode à avoir été mise au point permettant de tracer l'évolution de plusieurs attributs au cours de la consommation d'un produit entier (Gordin, 1987). Appliquée au domaine du tabac, l'objectif était d'étudier le profil temporel de quatre attributs au cours de la consommation d'une cigarette. Pour ce faire, chaque panéliste devait noter l'intensité de quatre descripteurs sensoriels à six moments précis au cours de la consommation d'une cigarette entière. Ce principe a également pu être utilisé avec une caractérisation type *Profil Flash* dans une étude sur des chewing-gums (Delarue & Loescher, 2004).

Plus tard, des protocoles multi-gorgées ou multi-cuillères, basés sur des méthodes temporelles existantes ont été développés récemment. Il s'agit le *DTS multi-gorgées* réalisé avec un panel entraîné (Zorn, Alcaire, Vidal, Giménez, & Ares, 2014) ainsi que le *CATA multi-bouchées* réalisé avec des consommateurs (Antúnez, Giménez, Alcaire, Vidal, & Ares, 2017). Ces méthodes sont principalement utiles pour comprendre les effets saturants de certains ingrédients utilisés dans des produits réduits en sel ou en sucre. Cependant elles se limitent à l'évaluation de quelques bouchées ou gorgées (entre 2 et 4).

Pour caractériser des prises plus conséquentes de produit, la méthode du *Profil Séquentiel* (Methven et al., 2010) a par conséquent été développée. Elle semble être la méthode temporelle la plus complète pour notre objectif. En effet, elle permet l'évaluation de plusieurs descripteurs sensoriels en même temps sur plusieurs portions successives (ici, huit). De plus, il a été montré que le nombre de descripteurs évalués par bouchée ou cuillère pouvait aller jusqu'à dix (Withers et al., 2016). En effet, l'objectif de ces méthodes étant de rester proche d'une expérience réelle de consommation, au-delà de 10 attributs, le temps nécessaire pour l'évaluation des descripteurs demandé dans une bouchée ou gorgée devient trop important. Par ailleurs, le nombre d'attributs à évaluer étant réduit, l'entraînement des juges n'est pas trop conséquent.

Ces méthodologies restent par ailleurs en cours de construction car leur développement est récent. Plusieurs questions sont encore à aborder comme le nombre ainsi que le type de bouchées ou de gorgées à réaliser. En effet, dans certains cas, le produit ne permet pas de réaliser des bouchées ou des gorgées identiques ; typiquement un produit hétérogène comme un bicouche (Delarue & Blumenthal, 2015; van Bommel, Stieger, Boelee, Schlich, & Jager, 2019). En outre, plusieurs auteurs ont souligné l'importance d'avoir des méthodes de caractérisation plus proches des perceptions consommateurs (H L Meiselman, 1992). Certaines méthodes, présentées ici, semblent donc de bons candidats pour nos futures expérimentations. Nous verrons par la suite que le caractère collatif de la complexité entraîne une compréhension individuelle de cette notion. Ainsi, il nous semble pertinent de connaître également les méthodes sensorielles permettant une analyse à l'échelle individuelle.

1.3 Résumé des méthodologies permettant de décrire et quantifier les caractéristiques sensorielles

Le Tableau 1 résume les différentes méthodes sensorielles développées dans cette première partie. Il décrit pour chacune des méthodes le type de caractérisation et de lecture.

Tableau 1. Méthodologies permettant la description et la quantification des caractéristiques sensorielles d'un produit

Nom de la méthode	Type de caractérisation		Evaluation	Type de lecture		Reference majeure
	Possibilité d'évaluer plusieurs modalités	Possibilité de mesurer des dimensions subjectives		Possibilité d'avoir une évaluation temporelle	Possibilité de comprendre les perceptions à l'échelle individuelle	
QDA	Oui	Non	Intensité	Non	Oui	Stone et al., 1974
Spectrum	Oui	Non	Intensité	Non	Oui	Meilgaard et al., 1999
Flavor Profile	Non	Oui	Intensité	Non	Oui	Cairncross & Sjöström, 1997
A5daptive Profile Method	Oui	Oui	Intensité	Non	Oui	A. M. Muñoz, 2017
CATA	Oui	Oui	Présence/Absence	Non	Non	Ares et al., 2010
RATA	Oui	Oui	Intensité	Non	Oui	Ares et al., 2014
Profil Libre	Oui	Oui	Intensité	Non	Oui	Williams & Langron, 1984
Profil Flash	Oui	Oui	Intensité	Inter-portion	Non	Sieffermann, 2000
Tri Libre	Oui	Oui	Similarité / Différence	Non	Non	Lawless, 1989
Napping	Oui	Oui	Similarité / Différence	Non	Non	Pagès, 2003
Projective Mapping	Oui	Oui	Similarité / Différence	Non	Non	Risvik et al. 1994
TI	Non	Non	Intensité	Intra-portion	Oui	Lee & Pangborn, 1986
MATI	Oui	Non	Intensité	Intra-portion	Oui	Palazzo & Bolini, 2009
DTS	Oui	Non	Dominance	Intra-portion	Non	Pineau et al., 2003
TCATA	Oui	Oui	Présence/Absence	Intra-portion	Non	Castura et al., 2016
IVDM	Oui	Non	Intensité	Intra-portion	Oui	Gordin, 1987
CATA multi-bouchées	Oui	Oui	Présence/Absence	Inter-portion	Non	Antúnez et al., 2017
DTS multi-gorgées	Oui	Oui	Dominance	Inter-portion	Non	Zorn et al., 2014
Profil Séquentiel	Oui	Non	Intensité	Inter-portion	Oui	Methven et al., 2010

2. Être capable d'identifier les caractéristiques sensorielles importantes pour les consommateurs

2.1 Demander au consommateur de justifier son opinion

Une première manière d'identifier les caractéristiques sensorielles importantes est de questionner directement le consommateur sur ses attentes. En effet, aujourd'hui les consommateurs deviennent demandeurs et alertes sur ce qu'ils souhaitent dans un produit alimentaire (Clemons, 2008). Ainsi en plus d'une question hédonique, l'ajout d'une question de commentaire libre ou de diagnostic est possible pour comprendre les caractéristiques essentielles pour les consommateurs (Galmarini, Symoneaux, Chollet, & Zamora, 2013; Symoneaux, Galmarini, & Mehinagic, 2012). Généralement, après avoir donné une réponse hédonique, il est demandé aux consommateurs de décrire ce qu'ils apprécient et ce qu'ils n'apprécient pas dans le produit considéré.

Cependant, demander à un consommateur d'expliquer pourquoi il apprécie ou rejette un produit reste controversé. En effet, selon Lawless & Heymann (2010), les consommateurs évaluent un produit dans sa globalité, même si parfois seulement une ou deux caractéristiques sensorielles principales sont responsables de leur appréciation. De plus ces caractéristiques peuvent conduire à des biais de confirmation, de post-rationalisation ou à une perception plus positives de certains attributs (on parle d'effet de halo). Enfin, demander une justification à l'appréciation peut influencer la réponse hédonique donnée par le consommateur.

2.2 Demander au consommateur de donner son opinion sur différents critères sensoriels définis

Un autre moyen pour identifier les caractéristiques sensorielles clés pour le consommateur est l'utilisation de méthodes dites directes (Moskowitz, 1972). La méthode du *Profil Idéal* (IPM) (Worch & Punter, 2014), l'utilisation des échelles *Just About Right* (JAR) (Vickers, 1988) et le *CATA idéal* (Bruzzone et al., 2015) en sont un exemple. Ces méthodes sont basées sur l'hypothèse que les consommateurs sont capables de noter l'intensité de descripteurs perçus lors de la dégustation d'un produit en fonction de leur idéal. La méthode du *Profil Idéal* permet, à partir d'un produit existant, d'identifier les caractéristiques sensorielles nécessitant d'être modifiées pour optimiser les caractéristiques sensorielles du produit. Ainsi, il est demandé aux consommateurs de noter l'intensité perçue et de donner leur intensité idéale pour différents attributs sensoriels. Les échelles JAR quant à elles ont pour objectif de déterminer de manière directe le produit idéal. Pour chaque attribut étudié, il est demandé aux consommateurs de noter le produit dégusté par rapport à leur idéal. En général, les échelles JAR sont présentées en cinq points de « pas du tout assez » à « beaucoup trop », le point central correspondant à la catégorie « juste comme il faut » (Popper & Kroll, 2005). Pour la CATA idéal, le principe est assez proche : le consommateur est amené à sélectionner les termes sensoriels qu'il attribuerait à son produit idéal. Comme pour la méthode du *Profil Idéal*, les attributs utilisés sont simples et facilement compréhensibles par les consommateurs.

On comprendra donc que ces approches sont à la frontière entre les tests descriptifs et les tests hédoniques. Cependant, certains travaux ont mis en évidence le fait que les consommateurs ne sont pas toujours aptes à se projeter sur ce qu'il pense comme idéal (Moskowitz, 2001). De plus, ces méthodologies introduisent également des biais importants. Par exemple, certains attributs seront toujours considérés comme 'pas assez présent'. En effet, il est fort possible qu'un cookie n'ait jamais assez de pépites de chocolat ou qu'une chantilly ne soit jamais assez aérée (Rothman, 2007). Enfin, il est important de souligner que ce type de méthodologies ne prend pas en compte l'interdépendance des attributs sensoriels. Par exemple, il a été démontré que des produits reformulés grâce à des résultats JAR n'étaient pas perçus comme optimaux (van Trijp, Punter, Mickartz, & Kruithof, 2007).

2.3 Utiliser des approches pour maîtriser les caractéristiques sensorielles importantes pour les consommateurs

Une autre manière pour identifier les caractéristiques importantes pour les consommateurs est l'utilisation de l'*analyse conjointe* (Green & Srinivasan, 1978; Moskowitz & Silcher, 2006). En effet, elle permet de connaître l'importance relative de différents attributs structurant les préférences. Elle repose sur une analyse des choix faits par consommateurs face à une série de proposition où différentes caractéristiques du produits sont testés. La *méthodologie des surfaces de réponses* (MSR) permet, par la recherche d'un optimum, de maîtriser les caractéristiques sensorielles (Drewnowski & Moskowitz, 1985). Cependant ces méthodologies obligent l'expérimentateur à se limiter à un nombre restreint de caractéristiques à étudier.

2.4 Utiliser des approches de modélisation pour identifier les caractéristiques sensorielles importantes pour les consommateurs

Complémentaires, la caractérisation sensorielle ainsi que la mesure hédonique peuvent être mises en relation afin de mieux comprendre le jugement des consommateurs. Plusieurs méthodologies de modélisation ont été développées.

Tout d'abord, la *cartographie externe des préférences* est la méthodologie la plus connue (Greenhoff & MacFie, 1994). Elle vise à analyser des données de préférence pour un ensemble de produits en fonction de leurs caractéristiques sensorielles. Les produits sont différenciés par leurs caractéristiques sensorielles qui seront mises en relation avec les préférences des consommateurs. Plusieurs modèles dits « emboîtés » peuvent être utilisés pour régresser les données de préférences des consommateurs : le modèle vectoriel, le modèle circulaire, le modèle écliptique et le modèle quadratique (Schlich, 1995). Ces modèles permettent de prédire les produits potentiellement les plus appréciés au sein d'un espace sensoriel pour un groupe de consommateurs considéré. Complet,

le modèle quadratique est le seul permettant de déterminer des zones optimales de préférences et accepte les consommateurs au comportement dit « électiques », c'est-à-dire des consommateurs appréciant de manière égale deux produits sensoriellement différents. Cependant, au regard du nombre de paramètres à estimer, le modèle quadratique nécessite un nombre minimum de six produits.

Une autre approche également possible pour comprendre les préférence est la régression *Partial Least Square* (PLS) (Martens, Izquierdo, Thomassen, & Martens, 1986). Elle permet de relier un bloc de variable à expliquer (les préférences) à un bloc de variables explicatives quantitatives (les caractéristiques sensorielles). Elle est un bon compromis entre résumer l'information portée par les données sensorielles et sélectionner les attributs qui expliquent au mieux les préférences des consommateurs (Tenenhaus, Pagès, Ambroisine, & Guinot, 2005).

Cependant plusieurs critiques peuvent être apportées à ces méthodes. Premièrement, les données sensorielles utilisées pour comprendre les préférences via ces approches statistiques, sont issues de méthodes statiques descriptives. Peu d'articles se sont penchés sur l'utilisation de données dynamiques dans ces modèles (Ares et al., 2017; Paulsen et al., 2013). En effet, cette tâche n'est pas si simple car elle consisterait à comparer des données sensorielles temporelles multiples à une donnée hédonique unique. Deuxièmement, dans le cas de la cartographie des préférences, les modèles ne prennent en compte que deux dimensions externes (les deux premières dimensions de l'espace considéré). Ainsi de l'information importante présente dans les dimensions supérieures est omises (Faber, Mojet, & Poelman, 2003). Cette omission peut conduire à des modèles non pertinents pour un nombre non négligeable de consommateurs. L'augmentation du nombre de dimensions sensorielles dans les modèles de régression ne semble pas résoudre le problème, car elle peut surajuster les scores de prédilection lorsque des modèles circulaires, elliptiques ou quadratiques sont utilisés, car seul un faible nombre de degrés de liberté est disponible pour estimer les paramètres. Enfin, il convient également de mentionner que ces approches ne permettent pas d'extrapoler les préférences en dehors de l'espace produit considéré (Worch, Lê, Punter, & Pagès, 2012).

Par conséquent, les méthodes supervisées probabilistes ont été proposées récemment (Golia, Brentari, & Carpita, 2017; Phan et al., 2012). Elles ont pour objectif d'identifier les relations de cause à effet entre des variables explicatives (les caractéristiques sensorielles) et une variable à expliquer (l'appréciation). Cependant elles nécessitent de très grands tableaux de données (c'est-à-dire beaucoup de produits) et imposent souvent l'incorporation de savoir d'experts pour pré-construire les relations (Phan, Boekel, Dekker, & Garczarek, 2010). Basées sur la théorie de Bayes, elles sont très complexes à mettre en œuvre et les auteurs appellent à plus de recherches pour exploiter le potentiel des réseaux Bayésien pour de telles problématiques.

2.5 L'enjeux pour de futurs développements

Face à de nouveaux produits ou à de nouvelles sensations, nos préférences peuvent évoluer au cours de la consommation du produit mais également au fur et à mesure des expositions. Récemment, l'évolution des préférences au cours de l'épisode de consommation a reçu beaucoup d'intérêt et plusieurs auteurs se sont intéressés à cette mesure (Delarue & Blumenthal, 2015). De plus, ces méthodes hédoniques temporelles permettent l'identification des caractéristiques sensorielles temporelles importantes pour le consommateurs (Thomas, van der Stelt, Prokop, Lawlor, & Schlich, 2016). Par ailleurs, l'impact des expositions répétées sur les préférences a été étudié et démontré dans la littérature (Lévy & Köster, 1999). En effet, deux comportements ont été observés et sont dus à des expositions répétées. Soit les préférences augmentent avec les expositions ; on parle du phénomène de 'mere exposure' développé par Zajonc (1968). Soit les préférences diminuent avec les expositions, on parle d'un phénomène d'ennui (Siegel & Pilgrim, 1958). Bien que ces deux phénomènes soient clairement en opposition, certaines caractéristiques du produit peuvent influencer la mise en place d'un comportement plutôt qu'un autre. Il s'agit par exemple, du caractère nouveau ou complexe du produit (Berlyne, 1957). Ainsi, au-delà des variables sensorielles, d'autres variables semblent intervenir dans la formation des préférences des consommateurs.

3. A la recherche d'autres caractéristiques importantes pour le consommateur

Selon Köster (2009), nos préférences, qui dictent en partie nos choix alimentaires, sont déterminées par plusieurs facteurs (Figure 3). Comme nous avons pu le voir, une grande majorité des articles s'intéresse à la compréhension des caractéristiques intrinsèques c'est-à-dire aux dimensions sensorielles du produit (Tuorila, 2007). Cependant il semblerait que les dimensions sensorielles d'un produit ne conditionnent pas entièrement nos intentions d'achat (Haddad et al., 2007). Il apparaît donc que d'autres dimensions influencent nos préférences. C'est le cas par exemple des dimensions *subjectives* telles que la complexité, le contraste ou l'équilibre (Figure 3). Cependant ces dimensions restent encore trop peu considérées et étudiées (Köster & Mojet, 2007).

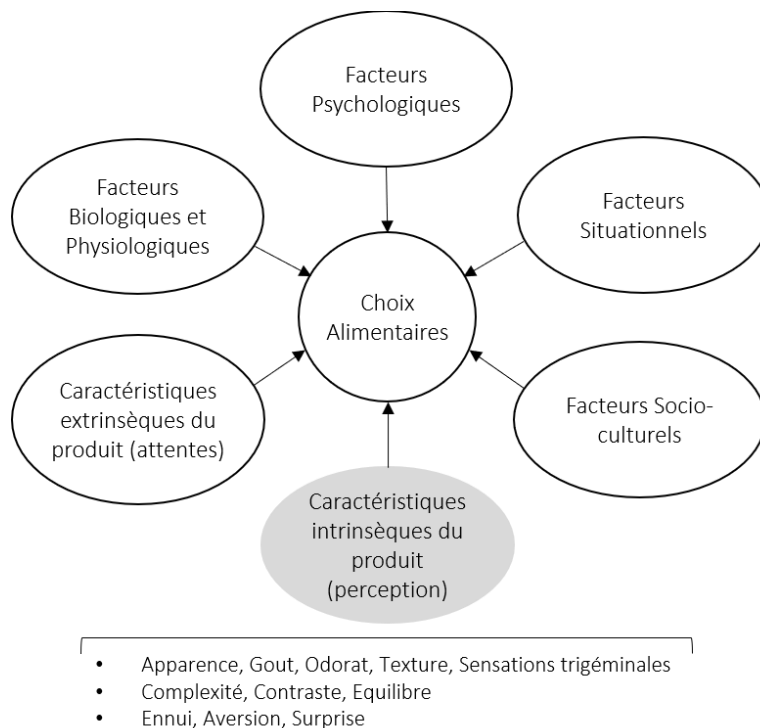


Figure 3. Facteurs d'influence des comportements de consommation et des choix alimentaire (Adapté de Koster, 2009)

3.1 Définition et propriétés des dimensions subjectives

Parmi les caractéristiques intrinsèques décrites par Köster (2009), la complexité, le contraste ainsi que l'équilibre ne sont pas des descripteurs sensoriels et pourtant elles influencent nos préférences. Ces descripteurs sont dits *subjectifs* car ils sont à l'interface entre un descripteur sensoriel (relatif au produit) et une dimension hédonique (relative au consommateur) (Masson, 2014). Comme un

descripteur sensoriel, une dimension subjective s'insère dans une démarche descriptive mais peut être liée au caractère agréable du produit. Ainsi, une dimension subjective est en lien avec les caractéristiques physico-chimiques et les caractéristiques sensorielles du produit ; mais également en lien avec les préférences. Une dimension subjective possède donc des caractéristiques semblables aux descripteurs sensoriels et aux dimensions hédoniques. Cependant, cette double facette suggère que l'évaluation de ce type de dimension ne soit ni consensuelle, ni discriminante, ni répétable (Lesschaeve, 2006). Dans la littérature, plusieurs dimensions subjectives ont déjà fait l'objet de nombreuses études. Le Tableau 2 présente une partie des différentes dimensions subjectives étudiées dans la littérature, suite à leur utilisation par des consommateurs. Cette variété observée confirme la place que peuvent avoir les dimensions subjectives dans la perception des produits et leur rôle dans la construction des préférences.

Tableau 2. Liste (non exhaustive) des dimensions subjectives étudiées dans la littérature, suite à leur utilisation par des consommateurs.

Dimensions subjective	References
Artificiel	Antúnez, Vidal, de Saldamando, Giménez, & Ares, 2017; Ares et al., 2013, 2011; Veinand, Godefroy, Adam, & Delarue, 2011; Vidal, Ares, & Giménez, 2013
Attractif	Ares & Deliza, 2010; Masson, Delarue, et al., 2016
Complexe	Cardello et al., 2016; Crisinel & Spence, 2012; Mielby, Jensen, Edelenbos, & Thybo, 2013; Paulsen, Rogns, & Hersleth, 2015; Paulsen, Ueland, Nilsen, Öström, & Hersleth, 2012; Picard, Tempere, de Revel, & Marchand, 2015; Ruijschop, Boelrijk, Burgering, de Graaf, & Westerterp-Plantenga, 2009; Sulmont, 2002; Sunarharum, Williams, & Smyth, 2014
Crémeux	Ares, Giménez, Barreiro, & Gámbaro, 2010; Cayot, Schenker, Houzé, Sulmont-Rossé, & Colas, 2008; Elmore, Heymann, Johnson, & Hewett, 1999; Michael Bom Frøst & Janhøj, 2007; Jervis, Gerard, Drake, Lopetcharat, & Drake, 2014; Kilcast & Clegg, 2002; Pimentel, Cruz, & Prudencio, 2013; Richardson-Harman et al., 2000
Équilibré	Barnes, Harper, Bodyfelt, & McDaniel, 2010
Fragile	Faye et al., 2006
Frais/Rafrichissant	Bouteille et al., 2013; Mireaux, Cox, Cotton, & Evans, 2007; Piqueras-Fizman, Velasco, Salgado-Montejo, & Spence, 2013; Roininen, Arvola, & Lähteenmäki, 2006; Vidal et al., 2013
Minéral	Ballester, Mihnea, Peyron, & Valentin, 2013; Parr et al., 2016; Rodrigues, Ballester, Saenz-Navajas, & Valentin, 2015; Rodrigues et al., 2017
Moderne	Masson, Delarue, et al., 2016
Naturel	Ares, Giménez, & Gámbaro, 2008; Ares et al., 2011; Faye et al., 2006; Mireaux et al., 2007; Moussaoui & Varela, 2010; Piqueras-Fizman et al., 2013; Raz et al., 2008; Roininen et al., 2006; Soufflet, Calonnier, & Dacremont, 2004; Veinand et al., 2011
Original	Masson, Delarue, et al., 2016
Pratique	Ares & Deliza, 2010; Vidal et al., 2013
Premium	Lyons & Wien, 2018; Masson, Delarue, et al., 2016
Rafrichissant	Bouteille et al., 2013; Fenko, Schifferstein, Huang, & Hekkert, 2009; Labbe, Gilbert, Antille, & Martin, 2009; Wang & Somogyi, 2018
Robuste	Masson, Delarue, et al., 2016
Rustique	Faye et al., 2006; Guerrero et al., 2009
Sain	Ares & Deliza, 2010; Ares et al., 2008; Mireaux et al., 2007; Mitterer Daltoé et al., 2017; Raz et al., 2008; Roininen et al., 2006; Russell & Cox, 2003; Vidal et al., 2013; Wang & Somogyi, 2018
Simple	Piqueras-Fizman et al., 2013
Unique/ Singulier	Jaeger et al., 2017
Typicité	Moio, Schlich, Issanchou, Etievant, & Feuillat, 1993

3.2 La compréhension et la caractérisation des dimensions subjectives

Généralement, les dimensions subjectives sont utilisées comme des éléments de description d'un produit. Elles sont utilisées seules ou en complément de descripteurs sensoriels pour mieux comprendre les préférences. Cependant, dans certains cas leur étude est plus approfondie. En effet, la compréhension des dimensions peut se faire à travers plusieurs angles de vue mais requiert souvent un effort multidisciplinaire (Bom Frøst & Janhøj, 2007). Par exemple, Labbe et al. (2009) ont observé que des perceptions telles que le rafraichissant ou la naturalité étaient basées sur de multiples déterminants sensoriels, mais également sur des facteurs physiologique, psychologique et social. Par conséquent, les dimensions subjectives ont été étudiées selon différents prismes.

Premièrement, certains articles se sont intéressés à leur étude via un prisme physico-chimique. Généralement, l'objectif est d'identifier les propriétés physiques et/ou chimiques liées à la dimension subjective considérée (Cayot et al., 2008). On retrouve également des études s'intéressant à des paramètres de formulation et de process pouvant influencer la perception de la dimension considérée (Kilcast & Clegg, 2002).

Deuxièmement, on retrouve des études réalisées via un prisme sensoriel. Ici, l'objectif des auteurs est d'identifier les propriétés sensorielles liées à la dimension subjective considérée par la recherche de corrélations. On remarquera que ces études peuvent porter sur des propriétés visuelles (Lyons & Wien, 2018), tactiles (Faye et al., 2006) ou même aromatiques (Bouteille et al., 2013). On retrouve également des approches analytiques où la dimension subjective étudiée est décomposée en plusieurs sous-dimensions sensorielles. Ici, les auteurs cherchent à identifier les sous-dimensions sensorielles (souvent plus faciles à évaluer) corrélées à la perception de la dimension subjective considérée (Medel, Viala, Meillon, Urbano, & Schlich, 2009). Cependant ce dernier cas implique de la connaissance a priori sur ces sous-dimensions.

Troisièmement, on retrouve la présence de méthodologies issues de la psychologie sociale, étudiant une dimension subjective à travers un prisme humain. L'objectif ici est d'étudier les représentations, les croyances ainsi que les émotions liées à la dimensions subjective étudiée (Parr, Muret, Blackmore, Pelquest-Hunt, & Urdapilleta, 2011; Rodrigues et al., 2015). Généralement, ces auteurs utilisent des méthodologies simples d'interviews avec des techniques projectives telles que l'association libre de mots, le chainage cognitif ou encore l'association d'images. Enfin, on retrouve également des articles où il est directement demandé à plusieurs sujets (experts ou consommateurs) de donner une définition de la dimension considérée (Ballester et al., 2013). Enfin, des méthodes plus spécifiques et plus complètes ont également pu être développées tel que le *Conceptual Profiling* (Thomson, 2010). Cette méthodologie permet de capturer et quantifier les dimensions subjectives (ou concept) impactant la perception d'une marque par exemple.

3.3 La place de la complexité

3.3.1 La complexité, une notion singulière

La complexité se détache des autres dimensions subjectives par plusieurs propriétés rendant son étude délicate mais intéressante :

- Son caractère universel : La complexité s'étudie dans de nombreux domaines. À titre d'exemple, 548 thèses ont été réalisées ces dix dernières années avec comme mots-clés 'complexité' (Agence bibliographique de l'enseignement supérieur, 2019). Plusieurs domaines très variés sont concernés : l'informatique, les sciences de gestion, les mathématiques, la philosophie, et bien entendu, les sciences des aliments ;
- Son caractère collatif : la complexité est liée à la fois au produit mais également au vécu de celui qui la perçoit et donc à ses référentiels. En effet, certains auteurs ont révélé l'influence du niveau de familiarité (Meillon et al., 2010) et d'expertise (Parr, Mouret, Blackmore, Pelquest-Hunt, & Urdapilleta, 2011; Schlich, Medel Maraboli, Urbano, & Parr, 2015) sur la perception de complexité ;
- Son caractère hédonique : la complexité influence notre appréciation pour le produit considéré (Berlyne, 1971) ;
- Son caractère multimodal : la complexité est relative à de nombreuses caractéristiques du produit telles que des caractéristiques visuelles (Kildegaard, A., Gabrielsen, P., & Thybo, 2011; Mielby, Kildegaard, Gabrielsen, Edelenbos, & Thybo, 2012; Paakki, Sandell, & Hopia, 2019), des caractéristiques olfactives et aromatiques (Jellinek & Köster, 1979, 1983; Meillon et al., 2010) et des caractéristiques de texture (Larsen, Tang, Ferguson, & James, 2016; Marcano, Morales, Vele-Ruiz, & Fiszman, 2015; Tang, Larsen, Ferguson, & James, 2017, 2016) ;
- Son caractère polysémique : La complexité est une notion relative à une large variété de concepts : trouver une définition précise et un moyen d'évaluation ne peut se faire qu'en se plaçant dans un cadre précis (Edmonds, 1995).

3.3.2 La complexité, une notion familière

Malgré la difficulté de compréhension qui semble émerger de cette notion, le mot complexité est très employé et diffusé dans la description de certains produits alimentaires ou boissons (Figure 4). En effet, il apparaît dans certaines descriptions sensorielles que l'on peut retrouver sur l'emballage de produits alimentaires. Ici, la complexité caractérise l'expérience sensorielle globale délivrée par le produit : « un café à la maturation lente favorisant la puissance et la complexité aromatique », « une huile qui révèle un bouquet fruité et complexe » ou encore « un cépage fruité, élégant et complexe ». Enfin, le mot complexité semble être utilisé pour véhiculer une expérience riche et positive.

<p>Café moulu</p> <p>« Araku Haute altitude est un café à la maturation lente, favorisant la puissance et la complexité aromatique »</p>	 <p>HAUTE ALTITUDE</p> <p>Araku Haute Altitude est un café à la maturation lente, favorisant la puissance et la complexité aromatique. Il développe une grande finesse et des notes épiquées marquées, mises en valeur par une torréfaction légère.</p>	<p>Café en grain</p> <p>« Des notes de fruits tropicaux au nez, une très belle acidité complexe, cerises, mangues, pommes bien balancée par une belle sucrosité »</p>	 <p>RWENZORI MOUNTAIN</p> <p>L'altitude et la séparation justifient de produire parmi les plus araboica du monde. C'est tout le contraire avec ce lot issu d'une coopération qui a fait le choix de la qualité, de la formation des petits producteurs et d'une meilleure rémunération de la qualité. Nous sommes... Des notes de fruits tropicaux au nez, une très belle acidité complexe, cerises, mangues, pommes, bien balancée par une belle sucrosité.</p>		
<p>Vin blanc</p> <p>« Fruité, élégance et complexité du cépage CHARDONNAY, issu de nos meilleurs terroirs »</p>	 <p>Saint-Véran</p>	<p>Vermouth Rouge</p> <p>« Appréciez la richesse et la complexité du MARTINI Rosso »</p>	 <p>MARTINI Rosso</p>	<p>Huile d'olive</p> <p>« Laissez-vous envouter par cette huile puissante et harmonieuse qui révèle un bouquet fruité et complexe associé à des notes végétales fraîches ... »</p>	 <p>MAS DEL CLOS</p>
 <p>Valrhona</p>	<p>COÛTEZ À L'EXCEPTION DU GRAND CHOCOLAT TASTE SOMETHING EXCEPTIONAL WITH LE GRAND CHOCOLAT</p> <p>De la complexité aromatique du Cacao à la puissance d'Abinao, découvrez avec nos 7 Grands Cacaos de chocolat noir un goût riche et complexe et une puissance des saveurs qui se révèle de manière... C'est la complexité aromatique d'un cacao à la puissance de l'Abinao, découvrez avec nos 7 Grands Cacaos de chocolat noir un goût riche et complexe et une puissance des saveurs qui se révèle de manière...</p>	 <p>Description</p> <p>Voici un très bel oolong, d'une grande complexité aromatique. Ses saveurs sucrées et délicatement amères développent des notes fruitées, florales, noisettes et pringelines. Le Yu Xiang Dian Cong est un oolong originaires de la province de Guangdong littoral de Chaoyang en Chine. Ses grandes feuilles torsadées brunes aux reflets cuivrés sont le fruit du travail d'un des fermiers qui a le plus de savoir faire de la région.</p>			
<p>Chocolat noir</p> <p>« De la complexe amertume de Guanaja à la puissance d'Abinao »</p>	<p>Thé noir</p> <p>« Voici un très bel oolong, d'une grande complexité aromatique. Ses saveurs sucrées et délicatement amères développent des notes fruitées... »</p>				

Figure 4. Illustrations de produits alimentaires où le terme complexité est utilisé en description

A setenis

Traditionnellement, pour comprendre et modéliser les préférences, deux types de données sont utilisées : des données sensorielles permettant de décrire et quantifier les caractéristiques sensorielles du produit et une réponse hédonique pour quantifier les préférences des consommateurs. Les méthodologies de description sensorielle se distinguent par la qualité des dimensions caractérisées : consensuelles, exhaustives, précises, sensorielles, subjectives, imposées ou libres. Elles se différencient également par leur fenêtre de caractérisation : une caractérisation statique à un instant t , une caractérisation dynamique au sein d'une cuillère ou d'une bouchée, ou une caractérisation dynamique entre différentes portions. D'autre part, afin d'identifier les caractéristiques sensorielles importantes pour le consommateur, plusieurs approches ont été développées. Il est possible par exemple de demander au consommateur de justifier son opinion ou de donner son opinion sur différents critères sensoriels. On retrouve également différentes approches statistiques permettant d'identifier les caractéristiques sensorielles importantes pour le consommateur : la cartographie externe des préférences, la régression PLS et les méthodes supervisées. Cependant, il apparaît que d'autres variables perceptuelles interviennent dans la formation des préférences : les dimensions subjectives. Ces dimensions sont dites subjectives car elles sont intermédiaires entre un descripteur sensoriel (relatif au produit) et une dimension hédonique (relative au consommateur). Elles sont souvent utilisées en complément des descripteurs sensoriels usuels ; mais peuvent parfois être à l'origine d'investigations plus poussées à travers des études multidisciplinaires. Parmi les dimensions subjectives étudiées, la complexité se distingue par des propriétés particulières : elle est universelle, collative, hédonique, multimodale et polysémique. Malgré cela, la notion de complexité est souvent évoquée pour caractériser l'expérience sensorielle délivrée par un produit tel que du vin, du café, de l'huile d'huile, du thé ou du chocolat.

Cette partie soulève cependant quelques questions :

- **La complexité est-elle une notion galvaudée ? N'aurait-on pas tendance à tout mettre derrière cette notion ?** Ce mot est souvent utilisé pour d'écrire l'expérience sensorielle d'un produit, cependant peu d'information est donnée sur sa signification. Il semble donc important de connaître les dimensions sensorielles permettant la formation d'une perception de complexité.
- **Comment caractériser l'expérience sensorielle amenant cette perception de complexité ?** Comme nous avons pu le voir, les protocoles multi-bouchées ou multi-gorgées sont les seuls apportant une caractérisation holistique et représentative d'un comportement réel de consommation. Il semble donc pertinent de se pencher davantage sur l'application de ces méthodes dans le cadre de cette thèse.
- **Quel rôle joue la complexité dans la formation des préférences ?** Comme nous avons pu le voir la complexité se caractérise par un caractère hédonique. Il apparaît donc pertinent de vouloir comprendre plus en profondeur son influence sur les préférences.

Ainsi, nous avons choisi de nous intéresser à l'hypothèse de l'existence de variables, qui ne sont pas des descripteurs sensoriels, mais qui interviennent dans la formation des préférences. Dans cette thèse nous nous pencherons davantage sur l'étude de la complexité. Afin d'apporter des premières réponses aux questions précédentes, la seconde partie se focalise sur la place de la complexité dans la littérature.

Deuxième partie : La complexité, une dimension au caractère hédonique, collatif, multimodal et polysémique.

Qu'est-ce que la complexité ? Est-ce que ce produit est complexe ? Posée ainsi, donner une réponse claire et objective à ces questions semble difficile. En effet, l'une des réponses pourrait être : « cela dépend ».

Cela dépend du type de complexité qui est étudié. Par exemple, si l'on considère un fruit, tel que le fruit de l'Hala : il s'agit d'un fruit que l'on retrouve en Australie, en Indonésie et dans les îles de l'Océan Pacifique (Gurmeet & Amrita, 2015). Ce fruit assez méconnu en Europe pourrait être perçu comme très complexe car il interroge et intrigue : Comment pousse-t-il ? Où l'acheter ? Comment le consommer ? Quel goût a-t-il ? Visuellement, sa composition en segments dégradés du jaune au vert, rattachés à un cœur blanc, renvoie également une complexité visuelle. En revanche, gustativement, son goût insipide, proche du concombre n'est pas le reflet de sensations surprenantes, variées et complexes. Cet exemple montre rapidement que pour un même produit, il est possible d'évaluer la complexité à plusieurs niveaux.

Cela dépend également de la personne qui perçoit cette complexité. Si l'on considère une eau-de-vie comme un cognac par exemple : un connaisseur pourrait être amené à le caractériser de complexe. En effet, les boissons alcoolisées tel que le cognac sont souvent caractérisés par leur complexité (Louw et al., 2014). Or, comme souligné par plusieurs auteurs, il est probable qu'une personne non initiée à la dégustation de cognac, ne perçoive pas cette complexité (Parr et al., 2011; Schlich et al., 2015). Cet exemple montre brièvement que la perception de complexité peut également varier d'un individu à l'autre.

Ces deux exemples illustrent le fait que la complexité est une notion qui peut être utilisée de différentes manières, en fonction du contexte dans lequel elle est employée, du produit considéré, du type de complexité étudié, etc. (Edmonds, 1995). Par conséquent, notre cadre d'étude se réduira dorénavant à la complexité d'un produit : une œuvre d'art, une musique, un parfum, un dessert ou encore une voiture. Les exemples ainsi que les références données dans cette partie ne peuvent cependant pas être exhaustifs mais sont le reflet des connaissances existantes autour de la notion de complexité. Cette partie a pour objectif de présenter, discuter et illustrer les quatre propriétés majeures de la complexité : hédonique, collatif, multimodal et polysémique.

Sommaire

1. Le caractère collatif et hédonique de la complexité.....	24
1.1 La Théorie de la stimulation	24
1.2 Déterminer le niveau optimal de stimulation	24
1.2.1 Influence des propriétés psychophysiques	24
1.2.2 Influence des propriétés collatives	25
1.3 L'impact de l'exposition sur la Théorie de la stimulation	26
2. Le caractère multimodal de la complexité.....	27
2.1 La complexité auditive	27
2.2 La complexité visuelle	28
2.2.1 Dans l'art et l'esthétique	28
2.2.2 Dans l'informatique	30
2.2.3 Dans le design	30
2.2.4 Dans l'alimentation	31
2.3 La complexité olfactive et aromatique	31
2.3.1 Dans le vin	31
2.3.2 Dans d'autres boissons	33
2.3.3 Dans les mélanges olfactifs	34
2.4 La complexité gustative	35
2.5 La complexité de texture	36
3. Le caractère polysémique de la complexité.....	37
3.1 La complexité de mise en œuvre ou de création	37
3.2 La complexité de l'intitulé du plat	38
3.3 La complexité du plat	38
3.3.1 La complexité visuelle du plat	38
3.3.2 La complexité de texture, gustative et aromatique du plat	39
3.4 La complexité de l'expérience	40

1. Le caractère collatif et hédonique de la complexité

1.1 La Théorie de la stimulation

En psychologie, des théories sur les préférences, le comportement et les motivations face à un objet ont été proposées afin d'expliquer certains choix du quotidien. Ces théories s'appuient sur l'idée que l'organisme humain cherche une stimulation quotidienne et se bat pour maintenir cette stimulation à un niveau optimal (Hebb, 1949). En 1960, Berlyne a combiné cette idée avec les expérimentations qu'il menait sur la curiosité que l'on peut avoir face à une œuvre d'art et a développé la Théorie de la stimulation (également appelée Arousal Theory). Il explique que l'attractivité d'un objet dépend de sa capacité à stimuler (ou divertir) l'observateur. Il ajoute cependant qu'un objet ayant un trop fort potentiel de stimulation sera peu apprécié et considéré comme déconcertant. Il en est de même pour un objet ayant un trop faible potentiel de stimulation, il sera peu apprécié et considéré comme ennuyeux. Ainsi, pour avoir un objet attractif et stimulant, il lui faudrait un niveau optimal de stimulation.

1.2 Déterminer le niveau optimal de stimulation

Chaque potentiel de stimulation est lié grâce à un assemblage de variables. Ces variables se décomposent en trois classes : (1) les propriétés psychophysiques, (2) les propriétés environnementales (3) les propriétés collatives de l'objet. Les propriétés psychophysiques dépendent principalement de l'objet considéré (comme l'intensité d'un stimulus) et les propriétés environnementales sont liées à l'observateur et à son état biologique (il s'agit par exemple de son état de faim ou de peur). Les propriétés collatives sont des propriétés liées à la fois à l'objet et à l'observateur. Le terme collatif (« collative » en anglais) a été proposé par Berlyne (1960) et rassemble quatre propriétés : la complexité, la nouveauté, l'incertitude et la contradiction (ou dissonance). L'un des objectifs de Berlyne est de comprendre et quantifier l'influence de ces propriétés sur le potentiel de stimulation d'un objet et donc sur son potentiel d'appréciation.

1.2.1 Influence des propriétés psychophysiques

La Théorie de Wundt permet déjà de connaître l'influence des propriétés psychophysiques comme l'intensité du stimulus sur l'appréciation (Berlyne, 1967, p.52) (Figure 5) : lorsque l'intensité du stimulus devient supérieure au seuil de perception, l'appréciation augmente avec l'intensité jusqu'à atteindre le niveau maximal d'appréciation. Si l'intensité de ce stimulus continue de croître,

l'appréciation diminue pour atteindre un niveau d'appréciation bien inférieur à celui de départ. *C'est le cas par exemple avec le sel : à partir d'une intensité salée perçue trop élevée, le produit considéré peut être plus désagréable qu'il ne l'était sans sel* (Pfaffmann, 1980).

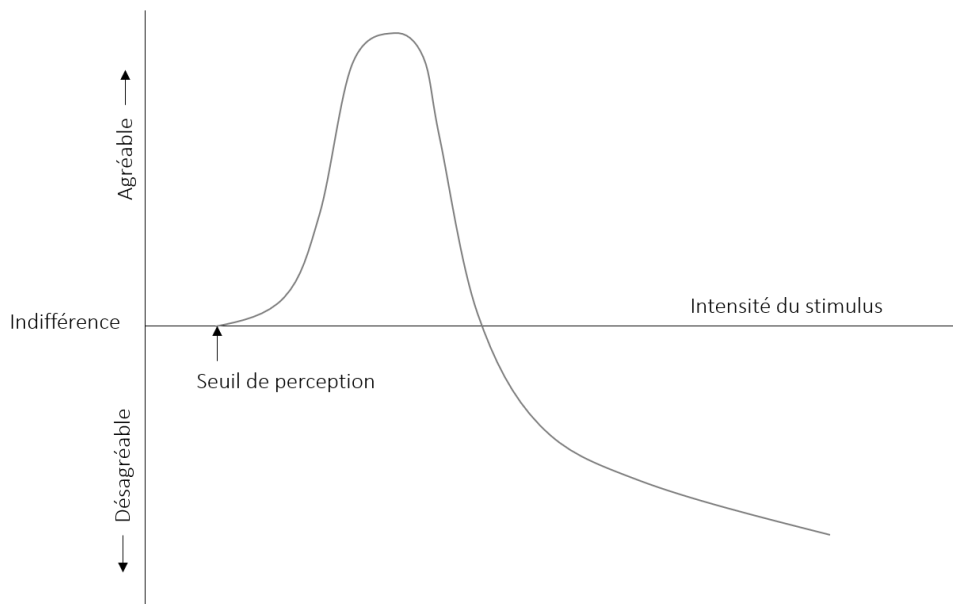


Figure 5. Courbe de Wundt montrant l'influence de l'intensité d'un stimulus sur l'appréciation

1.2.2 Influence des propriétés collatives

Berlyne s'est inspiré de la courbe de Wundt pour théoriser l'influence des propriétés collatives sur l'appréciation (Berlyne, 1971), et plus particulièrement l'influence de la complexité. Ses expérimentations dans l'esthétisme l'ont amené à montrer que la relation entre la complexité d'un stimulus et l'appréciation pouvait s'expliquer selon une courbe en U-inversé. En effet, selon lui, la réponse hédonique face à un stimulus augmente avec sa complexité jusqu'à atteindre un niveau optimal d'appréciation (Figure 6, point A). Une fois ce seuil franchi, l'appréciation diminue.

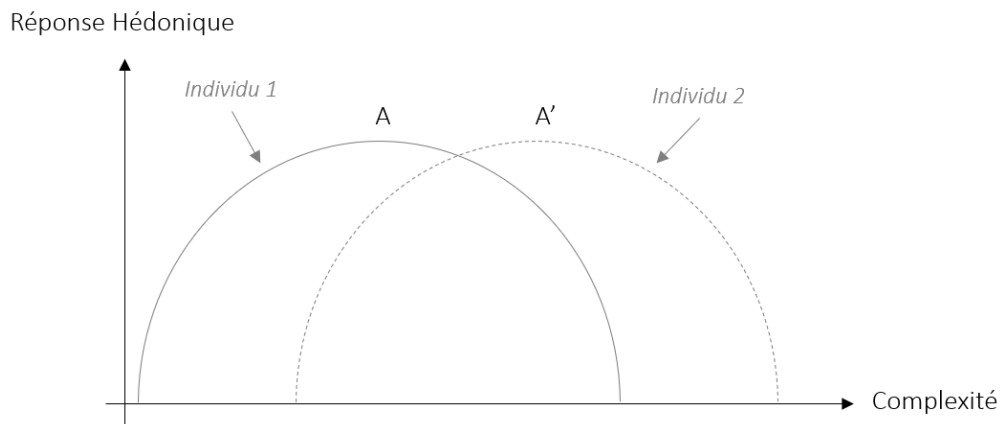


Figure 6. Courbe en U-inversé reliant la complexité à sa réponse hédonique suggérée par Berlyne en 1971

Comme expliqué précédemment, la complexité est une propriété collative, cela signifie qu'elle dépend de l'interaction entre le stimulus et celui qui le perçoit. Ainsi, le niveau optimal de stimulation A est supposé propre à chacun. La courbe en U-inversé peut donc se déplacer en abscisse en fonction des individus (Figure 6, point A').

1.3 L'impact de l'exposition sur la Théorie de la stimulation

En 1957, Dember & Earl ont proposé également une théorie expliquant que le niveau optimal de stimulation n'est pas stable dans le temps et que, ce niveau optimal pourrait augmenter suite à des épisodes répétés d'exposition au stimulus. En d'autres termes, l'exposition pourrait faire apprécier un stimulus plus complexe, déplaçant ainsi la courbe en U inversé vers la droite. La Figure 7 exprime cette idée : si le niveau de complexité optimal du sujet considéré est au point A, après une exposition répétée à ce genre de stimuli, le niveau de complexité optimal de ce même sujet passera du point A au point A' (Phénomène ①, Figure 7).

Cependant en fonction du niveau de complexité du stimulus auquel on s'expose, le résultat final ne sera pas le même. Par exemple, il est probable que le premier morceau de musique classique écouté par un néophyte soit perçu comme complexe et soit peu apprécié. Face à cette première exposition le néophyte a deux choix : continuer à écouter des morceaux de musique classique de ce niveau de complexité voire supérieure ou écouter de la musique plus accessible, moins complexe. Dans le premier cas, le néophyte deviendra de plus en plus familier avec ce type de morceaux, ils lui paraîtront moins complexes, ils seront donc de plus en plus appréciés. Ce phénomène a été théorisé par Zajonc (1968) : la Théorie de simple exposition (The Mere Exposure Theory). Elle décrit que plus une personne est exposée à un stimulus nouveau et complexe, plus elle l'appréciera car il lui paraîtra de plus en plus familier (Phénomène ②, Figure 7). Dans le second cas, le néophyte aura choisi d'écouter des musiques beaucoup moins complexes. À force de les écouter, elles lui paraîtront de

plus en plus familières, de moins en moins complexes mais ennuyantes. Ce deuxième cas a également été décrit par (Walker, 1980) : on parle de la zone de lassitude (The Boredom Theory) (Phénomène ③, Figure 7).

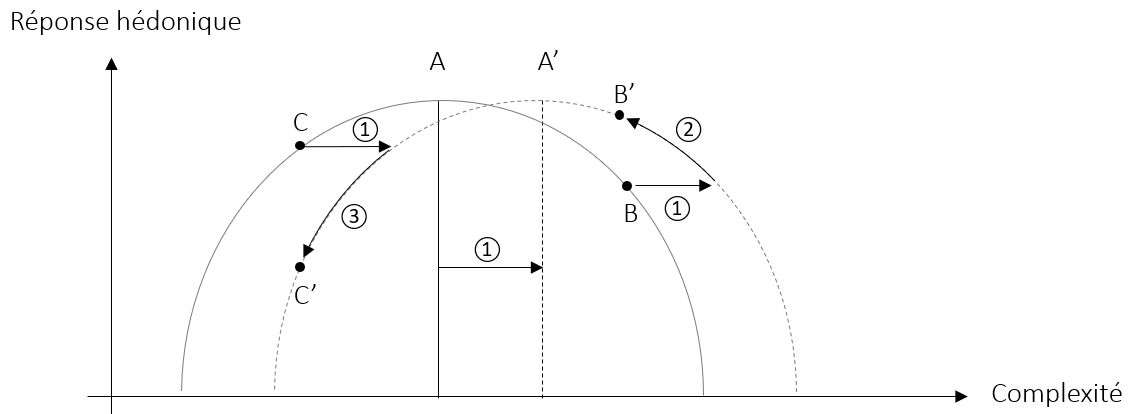


Figure 7. Courbe en U-inversé proposé par Berlyne (trait plein) et son déplacement sous l'influence de l'exposition (trait pointillé, Phénomène ①). Les Phénomènes ② et ③ représentent l'effet de l'exposition sur la familiarité et sont respectivement appelées la Théorie de simple exposition (Zajonc 1968) et la Théorie de l'ennui (Walker, 1980)

2. Le caractère multimodal de la complexité

2.1 La complexité auditive

C'est dans le domaine de la musique qu'ont été publiés les premiers travaux sur la complexité (Meyer, 1956). Meyer, considéré comme l'un des premiers à établir des liens entre la musicologie et les sciences humaines, développe des idées capitales pour ce qui n'est pas encore dénommé, à cette époque, la psychologie cognitive de la musique. La complexité y est étudiée comme un moyen de créer de la 'texture' musicale. Pour ce faire, Meyer révèle que l'ajout de voix ou d'instruments permet de créer des séquences musicales plus complexes et ainsi donner un contenu émotionnel à une musique.

Depuis, quelques études ont été réalisées au sujet de la complexité auditive et principalement sur son rôle dans la formation des préférences. Elles s'appuient sur la théorie de Berlyne et ont été revues par Chmiel & Schubert, (2017). Les résultats de cette revue, réalisée sur 57 articles, révèlent que 87,7% des études confirment la relation en U-inversé développée par Berlyne. Chmiel &

Schubert expliquent qu'une musique trop peu complexe est souvent considérée comme ennuyante et qu'à l'opposé, une musique trop complexe est difficile à suivre.

Par ailleurs, en dehors de cette revue, peu d'articles mettent l'accent sur les caractéristiques de la complexité auditive. Au cours de leurs expérimentations, Steck & Machotka (1975) ont créé du contenu musical complexe en jouant sur (1) la durée de la composition, (2) le nombre de tonalités utilisées, (3) la proximité de ces tonalités ainsi que (4) la séquence créée par ces tonalités. La plupart des autres auteurs utilisent des compositions ou musiques existantes. À titre d'exemple, *Préludes and Fugues N°1* de Bach est souvent utilisée comme référence peu complexe tandis que *Piano Sonata N°1* de Boulez comme référence très complexe (Burke & Gridley, 1990). À l'écoute de ces deux compositions ou à la lecture de la

Figure 8, même sans connaissance a priori, on remarque rapidement que *Préludes and Fugues* apparaît moins complexe que la seconde ; tant par le nombre de notes jouées, la régularité du rythme, le choix des accords que par la répétition de cette séquence.

The figure shows two musical excerpts. Excerpt (A) is from Bach's *Préludes and Fugues N°1*, showing a simple, repetitive rhythmic pattern in both hands. Excerpt (B) is from Boulez's *Piano Sonata N°1*, showing a much more complex and dense musical structure with many notes and irregular rhythms.

Figure 8. Extrait des partitions de *Préludes and Fugues N°1* de Bach (A) and que *Piano Sonata N°1* de Boulez (B)

Un travail de thèse a également permis la mise en place d'algorithmes afin d'estimer la complexité musicale de signaux acoustiques et musicaux (Streich, 2006). Dans ce cas précis, la complexité n'est pas perçue, mais calculée, faisant référence à différents aspects tels que l'acoustique, le rythme, le timbre et la tonalité des signaux étudiés.

2.2 La complexité visuelle

2.2.1 Dans l'art et l'esthétique

Berlyne (1971) affirme que l'intérêt pour la complexité viendrait du courant artistique Baroque (XVII^e siècle). Effectivement, cette époque a vu naître des œuvres où les artistes ont poussé la complexité à son extrême en ajoutant des détails hétérogènes et inattendus. Les premières études publiées sur la complexité visuelle ont été réalisées par Berlyne (1955) sur des rats, par Welker (1956) sur des

chimpanzés puis de nouveaux par Berlyne (1957) sur des hommes. Leur objectif était d’identifier les propriétés permettant d’influencer le niveau d’attractivité d’un stimulus.

Selon Berlyne, la complexité est « sans aucun doute, l’un des concepts les plus impalpables à aborder » mais un « déterminant primordial de la stimulation ». Il la définit comme « la quantité de variété et de diversité dans un stimulus » (Berlyne, 1960, p.38). Ses travaux restent, même aujourd’hui, les plus abondants et approfondis sur la notion de complexité. D’après le moteur de recherche Google Scholar, Berlyne a publié 73 articles sur la complexité entre 1955 et 1976, le plus cité étant « *Conflict, Arousal and Curiosity* », cité 8635 fois (Berlyne, 1960). C’est dans cet ouvrage que Berlyne s’intéresse aux composantes de la complexité visuelle, lui permettant ainsi de créer des stimuli visuels et de mettre en place ses expérimentations futures. Il travaille alors sur différents motifs géométriques et dessins très simples (Figure 9). Il y met en évidence 5 composantes permettant de générer de la complexité visuelle : (1) le nombre d’éléments distincts, (2) la dissimilarité entre les éléments (3) le degré d’unicité que ces éléments forment, (4) la quantité d’information à absorber pour comprendre le stimulus et (5) le niveau de redondance.

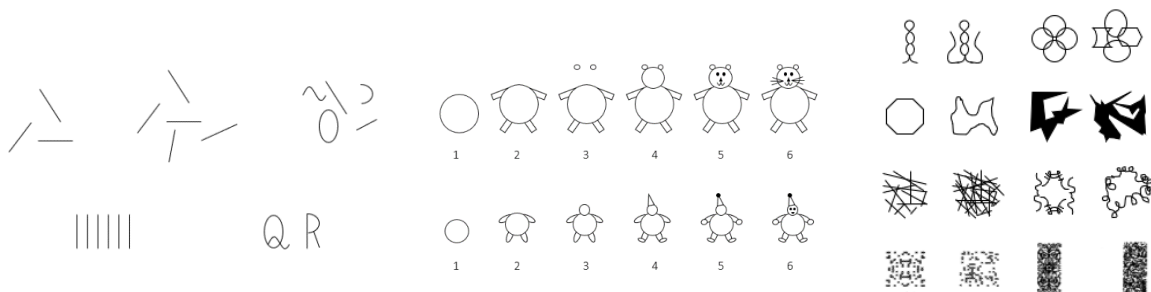


Figure 9. Motifs utilisés par Berlyne pour étudier l’influence de la complexité dans ses expérimentations selon les 5 composantes (Berlyne, 1960)

Grâce à l’identification de ces composantes, Berlyne a pu mettre en place de nombreuses expérimentations et développer l’ensemble de ses théories.

A notre connaissance, peu de scientifiques continuent à investiguer la notion de complexité visuelle perçue dans l’art. Seules quelques expérimentations en Psychologie Expérimentale ont été réalisées par une même équipe de recherche. Elles ont pour objectifs de mieux comprendre la mesure, l’influence hédonique ainsi que les déterminants de la complexité perçue dans l’art et la musique (Marin, Lampatz, Wandl, & Leder, 2016 ; Marin & Leder, 2012, 2013, 2016, 2018).

2.2.2 Dans l'informatique

On retrouve également des études sur la complexité visuelle dans l'informatique où des algorithmes sont désormais développés et utilisés pour calculer la complexité visuelle d'une œuvre (Cardaci, Di Gesù, Petrou, & Tabacchi, 2009; Guo, Qian, Li, & Asano, 2018) (Figure 10). Pour les études concernées, on parle cependant de complexité non perçue. Par exemple, le niveau de complexité d'une image peut être calculé à partir de la plus petite taille JPEG ou GIF possible de l'image considérée (Forsythe, Nadal, Sheehy, Cela-Conde, & Sawey, 2011). L'ensemble des techniques utilisées pour étudier et calculer la complexité d'une image a été revu par Marin & Leder, (2013).

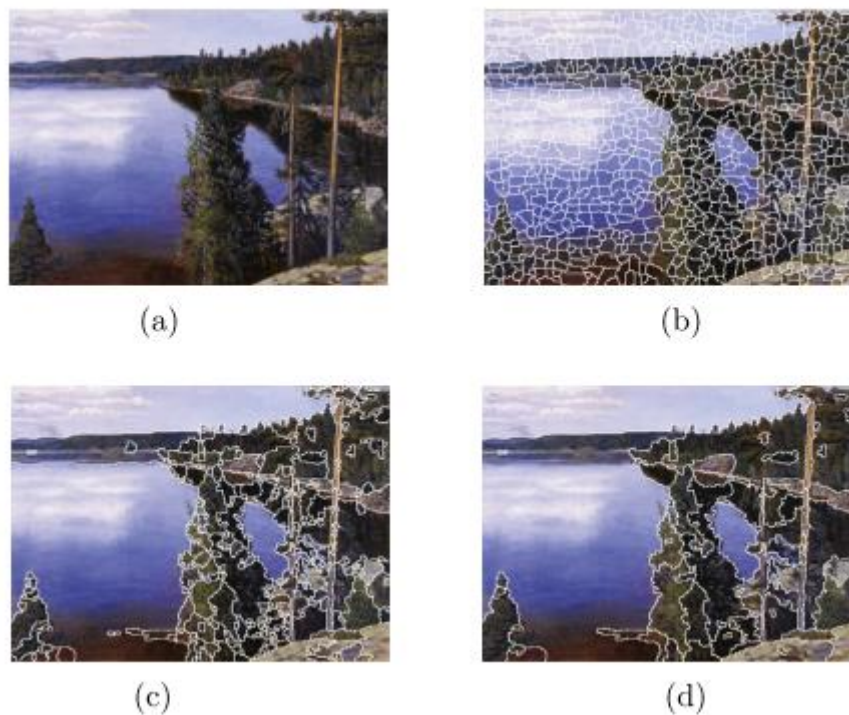


Figure 10. Exemple d'un algorithme mis en place pour estimer la complexité visuelle d'une œuvre d'art : (a) œuvre d'origine, (b)(c)(d) étapes utilisées par l'algorithme (Guo et al., 2018)

2.2.3 Dans le design

Dans le design, certains laboratoires s'intéressent à la complexité visuelle au niveau des interfaces hommes-machine comme des tableaux de bord de voiture (Lee, Kim, & Ji, 2019, Figure 11) ou des écrans de contrôle aérien (Xing & Manning, 2005). Dans ce domaine, la complexité est étudiée pour

répondre à des enjeux d'ergonomie cognitive et de facilité d'utilisation des interfaces. Encore une fois, cette complexité est souvent non perçue. En effet, elle se réfère à la quantité d'items présents sur le système considéré. Il s'agira par exemple de s'intéresser au nombre de boutons, d'icônes, de sous-écrans, mais également de leur taille, de leur forme, de leur disposition et des interconnexions entre ces éléments (Cummins et al., 2010) (Figure 11). La complexité visuelle y est donc utilisée pour comprendre et améliorer les interactions homme-machine.



Figure 11. Exemple des tableaux de bord utilisés par Lee et al. (2019) pour comprendre l'influence de la complexité visuelle sur les comportements de conduite (la première ligne correspondant à des tableaux de bord de forte complexité visuelle, celle du bas à des

2.2.4 Dans l'alimentation

La complexité visuelle a également fait l'objet d'études dans l'alimentation sur des mix de fruits et/ou de légumes (Mielby et al., 2012), des salades composées (Paakki et al., 2019) ainsi que des yaourts et des smoothies (Kildegaard et al., 2011). Dans ces trois études, la complexité visuelle y est étudiée comme un facteur influençant l'attractivité et l'appréciation des produits considérés. *Ces articles font partie de la revue bibliographique présentée en partie 3.*

2.3 La complexité olfactive et aromatique

2.3.1 Dans le vin

Le monde du vin est un exemple caractéristique de l'étude des dimensions subjectives. Le vocabulaire utilisé pour décrire un vin apparaît comme l'un des plus diversifié et subjectif. En effet par rapport à la description sensorielle d'autres types d'aliments, la description sensorielle du vin n'a jamais été confinée aux outils classiques de l'analyse sensorielle. Beaucoup de lexiques ont ainsi été créés avec l'aide d'experts du domaine tels que des œnologues, des producteurs, des viticulteurs, des maîtres de chai ou des sommeliers (Langlois, Dacremont, Peyron, Valentin, & Dubois, 2011;

Solomon, 1990) contribuant ainsi à la mise en place d'un vocabulaire subjectif également appelé le jargon du vin (Niimi, Danner, Li, Bossan, & Bastian, 2017).

Dans le glossaire proposé par le Guide Hachette des Vins (2018) le terme « complexe » est présenté comme descripteur du vin et a pour définition : « Se dit d'un vin déployant tout au long de la dégustation (du premier nez à la finale) une succession d'arômes variés tout en étant fondus, en harmonie les uns avec les autres et avec la texture. Un vin complexe laisse une impression durable de charme et de profondeur ». La complexité perçue d'un vin apparaît donc comme (1) un phénomène dynamique, (2) issu de la perception d'une variété de sensations successives (3) avec une influence hédonique positive. Au regard de cette définition très subjective, plusieurs questions peuvent se poser quant à l'évaluation de cette dimensions telles que : Comment évaluer l'harmonie d'une variété de sensations ? Comment évaluer « une impression durable de charme et de profondeur » ? Certains auteurs ont pu montrer que la complexité d'un vin était caractérisée par la persistance, l'harmonie et la richesse aromatique perçues (Medel et al., 2009). D'autres travaux ont souligné que la complexité perçue augmentait lorsque l'intensité boisée augmentait et les intensités fruité et florale diminuaient (Moio et al., 1993).

La complexité perçue du vin semble également avoir une influence sur l'appréciation. La complexité est souvent utilisée pour décrire la qualité des vins (Singleton & Ouch, 1962). En effet, la qualité des grands vins est intimement liée à leur aptitude au vieillissement, c'est-à-dire au développement de leur personnalité aromatique au cours de leur conservation en bouteille. Pendant la conservation, certains arômes du vin (dits arômes tertiaires) vont évoluer vers une qualité aromatique supérieure à celle qu'il possède au départ : on parle du bouquet de vieillissement. Conceptuellement, ce bouquet de vieillissement est considéré comme un signe de qualité associé à l'image prestigieuse des grands vins de garde (Picard, 2015). Selon Jackson (2009), la qualité d'un vin est « la propriété d'un vin développant une complexité, une harmonie et une subtilité aromatique, révélant une personnalité propre et un bouquet de vieillissement ». De plus, il apparaît que la subtilité et la finesse exprimées au travers de l'équilibre, de l'intensité et de la complexité aromatique contribuent à définir la qualité des grands vins (Parr et al., 2011).

Aujourd'hui, dans le domaine de l'analyse sensorielle et de l'étude du consommateur, la complexité olfactive et aromatique du vin est étudiée de manière explicite, principalement par trois équipes de recherche. Le Tableau 3 synthétise, par équipe de recherche, les études menées. L'objectif des recherches menées par Spence et Wang est de mieux comprendre et définir la notion de complexité. Dans leurs articles, ils abordent par exemple le caractère multi-dimensionnel et collatif de la complexité. Meillon et al. (2010) ainsi que Schlich et al., (2015), utilisent la complexité comme descripteur sensoriel afin de caractériser, respectivement, des Syrah réduits en alcool et des Sauvignon Blanc. Ils ont par exemple mis en avant l'importance de prendre en compte la dynamique des sensations perçues dans la compréhension de la notion de complexité. Enfin, Parr et al., (2011) et Schlich et al. (2015) ont montré l'influence ainsi que l'intérêt de prendre en compte l'expertise pour l'étude de la perception de complexité. *Ces articles font également partie de la revue bibliographique présentée en partie 3.*

Tableau 3. Études publiées sur la complexité olfactive et aromatique du vin

Equipe de recherche	Titre de l'article	References
Crossmodal Research Laboratory, Oxford University, UK	Is complexity worth paying for? Investigating the perception of wine complexity for single varietal and blended wines in consumers and experts	Wang & Spence, 2019
	On the Meaning(s) of Perceived Complexity in the Chemical Senses	Spence & Wang, 2018
	What does the term 'complexity' mean in the world of wine?	Spence & Wang, 2018b
	Wine complexity: An empirical investigation	Wang & Spence, 2018
INRA, UMR Sciences du Goût, Dijon, FR	Impact of partial alcohol reduction in Syrah wine on perceived complexity and temporality of sensations and link with preference	Meillon et al., 2010
	Perceived complexity in Sauvignon Blanc wines: influence of domain-specific expertise	Schlich et al., 2015
AGLS Faculty, Lincoln University, Christchurch, NZ	Representation of complexity in wine: Influence of expertise	Parr et al., 2011

2.3.2 Dans d'autres boissons

La complexité olfactive et aromatique est également étudiée sur d'autres types de boissons telles que des bières (Giacalone, Duerlund, Bøegh-Petersen, Bredie, & Frøst, 2014), des cognacs (Louw et al., 2014) des jus d'oranges (Lévy et al., 2006), des jus de pommes ainsi que des boissons aromatisées (Sulmont-Rossé, Chabanet, Issanchou, & Köster, 2008). Pour ces auteurs, la complexité correspond à la quantité de sensations aromatiques perçues ainsi qu'à leur capacité à coexister entre-elles. En effet d'après Giacalone et al. (2014) la perception de disharmonie entre les sensations entraîne une augmentation de la perception de complexité sensorielle. Cependant ces quatre études n'ont pas présenté d'investigations particulières sur la relation entre les propriétés sensorielles des produits et la perception de complexité.

Dans ce corpus d'études, les auteurs ont étudié la complexité comme un facteur d'influence des préférences en s'appuyant sur la Théorie de Berlyne. Malheureusement leurs résultats ne permettent pas d'appuyer cette relation en U-inversé. En revanche, les résultats obtenus par Lévy, MacRae, & Köster (2006) ainsi que Sulmont-Rossé, Chabanet, Issanchou, & Köster (2008) ont permis de confirmer le rôle de la complexité sur la dynamique des préférences. Ils confirment ainsi l'application de la théorie de Dember & Earl (1957) pour ce type de boisson. *Ces articles sont particulièrement détaillés dans la revue bibliographique présentée en partie 3.*

2.3.3 Dans les mélanges olfactifs

La notion de complexité est également utilisée pour caractériser les mélanges olfactifs (Livermore & Laing, 1998). En effet, un mélange olfactif est constitué de plusieurs composés chimiques, et peut donc être caractérisé par une complexité chimique plus ou moins importante. Cette complexité chimique est particulièrement étudiée afin de comprendre son lien avec la complexité perçue.

Les modes de fonctionnement du système olfactif et donc de nos perceptions, peuvent varier en fonction du type de mélange olfactif considéré (Berglund, Berglund, & Lindvall, 1976). Certains mélanges sont considérés comme hétérogènes lorsque plusieurs composés chimiques sont perçus dans le mélange. Cette perception repose sur un fonctionnement analytique : toutes les qualités odorantes des composés chimiques sont perceptibles ((A) sur la Figure 12). Parfois, des interactions existent entre les composés chimiques du mélange conduisant à la perception d'une autre qualité odorante : on parle d'une perception synthétique partielle ((B) sur la Figure 12). A l'inverse, un mélange est considéré comme homogène lorsqu'il engendre la perception d'une seule odeur. Il peut s'agir d'une odeur saillante du mélange ((C) sur la Figure 12), la perception sera donc en fonctionnement analytique. Cela peut également être la perception d'une autre odeur, propre au mélange et dont la qualité est différente de celles portées par les composés chimiques du mélange ((D) sur la Figure 12). Dans ce dernier cas, le mode de fonctionnement est dit synthétique (Thomas-Danguin et al., 2014).

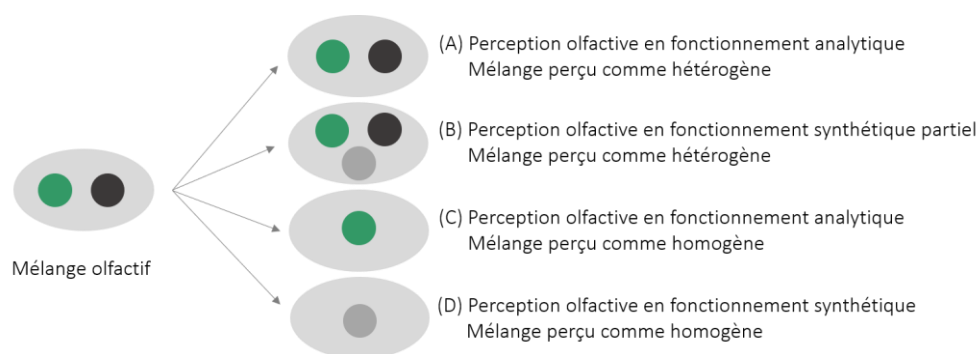


Figure 12. Représentation schématique des stratégies de perception des mélanges olfactifs (inspiré de Thomas-Danguin et al., 2014)

Sur la base de ces différents types de perception, il est important de comprendre quel est le niveau de complexité perçue en (A), (B), (C) et (D) par rapport à la complexité chimique du mélange olfactif. Romagny, Coureaud, & Thomas-Danguin, (2018) se sont intéressés à ces différentes perceptions

ainsi qu'à leur niveau de complexité perçue. Ils ont réalisé plusieurs études sur des mélanges olfactifs contenant entre 1 et 6 composés. Certains mélanges de 6 composés, évalués de manière synthétique peuvent évoquer une odeur unique connue (de grenadine par exemple) et donc être perçus comme peu complexe ((D) sur la Figure 12). Dans d'autres cas où l'évaluation est analytique, la présence d'une odeur saillante peut engendrer une perception de complexité élevée ((C) sur la Figure 12). Par ailleurs, il est important de souligner que l'ensemble des 6 composés n'a jamais été perçu, même dans un fonctionnement analytique ((A) sur la Figure 12) ce qui s'explique par une limite de notre système olfactif. En résumé, un mélange complexe n'amène pas toujours une perception de l'ensemble de ses éléments (fonctionnement analytique vs fonctionnement synthétique). Par conséquent, un mélange très complexe chimiquement peut être perçu comme simple s'il est évalué via un fonctionnement synthétique. Ces deux types de fonctionnement peuvent être modulés en fonction de nos capacités individuelles à pouvoir percevoir les composés d'un mélange (Barkat, Le Berre, Coureaud, Sicard, & Thomas-Danguin, 2012).

D'autres études ont également été réalisées sur des parfums contenant parfois plus de 100 composés chimiques (Jellinek & Köster, 1979, 1983). Avant d'entamer leurs expérimentations, Jellinek & Köster (1979) ont proposés quatre définitions de la complexité d'un mélange olfactif :

- La complexité chimique qui correspond au nombre de composés chimiques présents dans le parfum
- La complexité perçue ou psychologique qui correspond au nombre d'impressions perçues
- La complexité des parfumeurs qui correspond à la variété des notes créées par le parfum
- La complexité physiologique qui correspond au nombre de récepteurs stimulés par le parfum

Leur objectif était alors double : étudier l'influence de la complexité sur les préférences et investiguer le rôle de la complexité chimique dans la perception de complexité. Afin de répondre à ces objectifs, des expérimentations ont été réalisées sur des solutions odorantes et des crèmes. Leurs résultats ne permettent pas d'appuyer l'application de la théorie de Berlyne pour des parfums. Par ailleurs, ils confirment que la complexité chimique n'est pas proportionnelle à la complexité perçue. *Ces deux articles seront donc particulièrement détaillés dans la revue bibliographique présentée en partie 3.*

2.4 La complexité gustative

A notre connaissance, il est intéressant de noter qu'aucun article n'ai traité la complexité gustative seule. Or, certaines expérimentations ont par exemple mis en avant qu'une réduction de sucre diminuait la dynamique des sensations mais également la richesse aromatique perçue dans les yaourts (Oliveira et al., 2015). Enfin, dans des bières, l'équilibre amer/sucré a également été mis en exergue comme déterminant de la perception de complexité (Giacalone et al., 2014).

En science des aliments, les articles considèrent à la fois la complexité gustative et aromatique. Les complexités gustative et aromatique sont étudiées sur différents produits tels que des soupes

(Bitnes, Ueland, Møller, & Martens, 2009; Olabi et al., 2015; Weijzen, Zandstra, Alfieri, & de Graaf, 2008), des smoothies et des yaourts (Kildegaard et al., 2011; Reverdy, Schlich, Köster, Ginon, & Lange, 2010), des biscuits salés ou sucrés (Porcherot & Issanchou, 1998; Soerensen, Waehrens, & Byrne, 2015), etc. Pour ces auteurs, la complexité correspond à la richesse des sensations perçues c'est-à-dire au nombre de sensations perçues. Certains soulignent également que la complexité gustative et aromatique est liée à la difficulté d'identifier les sensations (Porcherot & Issanchou, 1998) ou à la surprise provoquée par les sensations perçues (Reverdy et al., 2010). Comme pour les études précédente, la complexité est principalement étudiée comme un facteur d'influence des préférences (Kildegaard et al., 2011; Olabi et al., 2015; Porcherot & Issanchou, 1998; Reverdy et al., 2010; Soerensen et al., 2015; Weijzen et al., 2008) mais également comme facteur d'influence de la néophobie (Olabi et al., 2015). Leurs résultats ne permettent malheureusement pas d'appuyer l'application de la théorie de Berlyne pour de tels produits alimentaires. Olabi et al. (2015) ont quant à eux révélés que les néophobiques avaient tendance à apprécier d'avantage les produits moins complexes. Enfin, Bitnes et al. (2009) se sont penchés sur l'impact de la complexité a priori de soupes sur les performances d'un panel sensoriels. Leurs résultats indiquent que les performances des juges ne sont pas impactées. *L'ensemble de ces articles est détaillé dans la revue bibliographique présentée en partie 3.*

2.5 La complexité de texture

Peu de chercheurs se sont intéressés à la complexité de texture. Selon Larsen et al. (2016) ainsi que Tang et al. (2017, 2016), la complexité de texture correspond à la progression dynamique des sensations de texture perçues entre la première bouchée et la dernière bouchée d'un produit. Leur travail repose sur l'intérêt de considérer la complexité de texture dans la perception de satiété. En effet, leurs résultats montrent que plus un produit est perçu comme complexe, plus il sera perçu comme rassasiant. Marcano, Morales, Vele-Ruiz, & Fiszman (2015) ont également rendu des résultats similaires. *Ces quatre articles seront détaillés dans la revue bibliographique présentée en partie 3.*

3. Le caractère polysémique de la complexité

Comme décrit précédemment, la complexité est une notion relative à une large variété de concepts. En fonction du cadre dans lequel elle est considérée, sa définition peut être différente et peut faire référence à diverses notions (Edmonds, 1995). Afin d'illustrer ce caractère polysémique, nous allons discuter les différents genres de complexité que l'on peut trouver dans l'alimentation et plus particulièrement dans la gastronomie.

3.1 La complexité de mise en œuvre ou de création

Dans son livre *Surprises et Gourmandises*, Pierre Hermé propose des recettes que l'on pourrait qualifier de complexes à réaliser (Hermé, 2016). En effet, les recettes proposées dans cet ouvrage nécessitent un grand nombre d'ingrédients (plus de 30 en moyenne), d'étapes, de techniques et d'ustensiles. Cette complexité de préparation semble donc être le reflet des compétences et de l'expertise nécessaires pour réaliser de telles recettes.

Dans une interview donnée par le chef Heston Blumenthal, on comprend également que son « fruit à la viande » relève d'une grande complexité de préparation. Selon Levy (2013), les instructions données pour préparer ce fruit nécessitent plus de 1000 mots, et il faudra plusieurs jours pour achever cette recette. Par exemple, pour permettre à la gelée de mandarine de figer, il lui faudra reposer pendant au minimum 24 heures au frigo. Cette recette requiert d'avoir une machine à sceller sous-vide, un bain marie thermostaté et un robot qui mélange et chauffe en même temps. Il faudra également disposer d'un thermomètre de cuisine, de moules en forme d'orange en silicone et d'une balance de précision permettant des mesures de moins de 2 grammes. Étonnement, malgré une telle complexité de préparation, ce « fruit à la viande » semble, en apparence, très simple (Figure 13).



Figure 13. Le « fruit à la viande » (« Meat Fruit ») par le chef Heston Blumenthal

3.2 La complexité de l'intitulé du plat

La complexité de l'intitulé est associée à la quantité d'ingrédients ou d'éléments utilisés pour décrire un plat. Cette complexité peut également être augmentée lorsque l'intitulé comprend les techniques culinaires utilisées et l'origine des ingrédients (Spence, 2018). Plus généralement, la complexité de l'intitulé est liée à la quantité et à la qualité des informations données dans la description du plat. Par exemple, on peut retrouver « La tomate plurielle : naturellement explosive, consommé glacé à la fleur de sureau et safran, crème glacée à l'huile d'olive surmat urée et à la menthe cassis », à la carte du Restaurant du chef Anne Sophie Pic (Pic, 2019).

Cette complexité a fait l'objet d'une étude réalisée par McCall & Lynn, (2008) où plusieurs intitulés, de complexité a priori faible et forte, ont été utilisés. Leurs résultats montrent que les plats ayant des intitulés plus complexes sont perçus comme de meilleure qualité. Les participants interrogés rapportent également qu'ils seraient prêts à payer plus cher pour les plats ayant les intitulés les plus complexes.

3.3 La complexité du plat

3.3.1 La complexité visuelle du plat

Les présentations visuelles des plats de grands restaurants peuvent également être une source de complexité. La complexité du plat se retrouve principalement dans le nombre et le type d'éléments distincts impliqués. Leurs formes, leurs couleurs, leur textures et leur taille peut également jouer (Deroy, Michel, Piqueras-Fizman, & Spence, 2014). La salade aux 100 éléments servie par le chef Andoni dans son restaurant Mugaritz en est une parfaite illustration (Aduriz, 2012). En effet, 100 éléments différents sont nécessaires pour sa fabrication ce qui la rend extrêmement complexe : on y retrouve des éléments attendus tels des légumes, des herbes ou des fruits mais également des choses plus surprenantes comme des algues ou des épices torréfiées.

D'autres aspects tels que la disposition spatiale des différents éléments, la symétrie des éléments et le contraste créé par les couleurs peuvent également rendre la composition visuelle plus complexe (Spence, Piqueras-Fizman, Michel, & Deroy, 2014). Enfin, il arrive que la présence d'un élément inhabituel ou surprenant puisse également être à l'origine d'une perception de complexité dans le plat (Spence, 2018). L'organisation de ces éléments est également très importante et souvent extrêmement contrôlée par le chef (Zellner, Lankford, Ambrose, & Locher, 2010). Le Gargouillou de jeunes légumes du chef Michel Bras présenté au début de ce Manuscrit (Figure 1) en est une très bonne illustration. On retrouve une multitude d'herbes, de légumes et de fleurs posés ici et là comme si la nature avait repris ses droits dans l'assiette. Pourtant, les associations sont très orchestrées,

contrôlées et réfléchies : chaque herbe pourra donner une sensation différente si elle est mangée en même temps que tel légume ou telle fleur. L'art de l'association dans le plat est très complexe : « il faut apprendre à contrôler les compétitions entre les éléments d'un plat en faisant preuve d'un sens aigu de l'observation et beaucoup de pratique » (Lagorce, Fénot, & Wyart, 2015).

3.3.2 La complexité de texture, gustative et aromatique du plat

La complexité du plat se retrouve également dans les goûts et les textures qu'il apporte. En effet, certains plats de grands chefs sont construits autour d'éléments pouvant s'associer, se contraster ou même se confondre afin de créer des expériences sensorielles complexes (Gaudry, 2018). C'est le cas par exemple du chef René Redzepi (chef du Noma à Copenhague) qui utilise souvent des saveurs très simples, les retravaille, les associe afin de créer des expériences sensorielle inédites et riches de sensations (Gaudry, 2018). Le *Veggie Mandala*, « une rosace de légumes pickle au jus de sureau et groseilles blanches qui déploie une large palette d'acidité » en est un exemple (Figure 14). Plusieurs textures ont été travaillées afin de créer un contraste entre le mou, le dur, le croquant et le moelleux. Enfin, curieusement, le chef a choisi de ne travailler que les saveurs pour créer de la complexité gustative et aromatique : on retrouvera des notes iodées, suaves, acidulées, acides et piquantes.



Figure 14. Veggie Mandala, proposé par le chef René Redzepi au Noma (Copenhague)

La complexité gustative et de texture peut également être le résultat d'une perception de sensations surprenantes. Par exemple, le chef Denis Martin a imaginé une bouchée surprenante et complexe : le Thon au chocolat blanc et piment Thai. Selon Spence (2018), « en une seule bouchée, on perçoit une série de sensations très distinctes qui se maintiennent après la dégustation : les premières notes frappent avec le wasabi, puis c'est la texture tendre du thon qui surprend, et enfin la sensation

crémeuse et couvrante du chocolat blanc vient éteindre le feu ». Dans ce plat, la complexité perçue est sans doute due à la perception de sensations inattendues et à leur l'enchaînement temporel.

La complexité du plat se forme également à partir des arômes perçus dans plat. En effet, il a été montré par exemple que la similarité aromatique des sensations perçues permettait d'augmenter la perception d'harmonie et ainsi diminuer la perception de complexité (Eschevins, Giboreau, Allard, & Dacremont, 2018). Cependant connaître les associations aromatiques permettant de mettre en œuvre de la complexité sensorielle n'est pas si simple et requiert une grande expertise (Eschevins, Giboreau, Julien, & Dacremont, 2019).

3.4 La complexité de l'expérience

Au-delà de la complexité du plat, l'environnement dans lequel il est consommé peut également contribuer à une perception de complexité (Spence & Piqueras-Fizman, 2014). En effet, de plus en plus, la haute gastronomie a souhaité créer des expériences uniques en proposant leur cuisine dans des environnements particuliers (Muñoz et al., 2018). Prenons l'exemple du restaurant de Paul Péret, L'Ultraviolet à Shanghai. Dans ce restaurant, on ne profite pas que de l'expérience gustative dans le plat mais également de l'expérience multisensorielle mise en œuvre autour. Par exemple on retrouvera un impressionnant système d'imagerie, une diffusion d'odeurs dans la salle ainsi que de la musique pour accompagner le service de chaque plat. Ces différents facteurs multisensoriels n'ont pas été choisis au hasard. En effet, de nombreux auteurs ont montré l'impact de la musique, des odeurs ainsi que de l'environnement général sur la perception et l'appréciation de l'expérience (Spence & Piqueras-Fizman, 2014; Velasco, Jones, King, & Spence, 2013). Il a également été mis en avant que la complexité de ces expériences multisensorielles pouvait influencer positivement le jugement porté sur le plat (Meiselman, Johnson, Reeve, & Crouch, 2000; Meiselman, 2008). Plus modestement, la complexité de l'expérience peut également être liée au contenant utilisé pour servir le plat ainsi qu'à la vaisselle présente à table (Spence & Carvalho, 2019).

La complexité de l'expérience peut également être le résultat des associations que l'on peut faire pendant la consommation du plat. Par exemple de nombreux auteurs ont examiné les associations entre un plat et une boisson comme du vin ou de la bière (Eschevins et al., 2019; Paulsen et al., 2015; Scander, Monteagudo, Nilsen, Tellström, & Yngve, 2018). En fonction de la paire met-boisson choisie, la complexité perçue ne sera pas la même ; elle est par exemple modulée par l'harmonie et l'équilibre des sensations aromatiques perçues dans la boisson et dans le plat (Eschevins et al., 2018).

Enfin, cette complexité est également perçue à travers les différents plats que l'on peut être amené à déguster. Aujourd'hui, certains chefs sont passés des menus traditionnels à 3 ou 4 plats à des menus dégustation où plus de 20 plats peuvent être servis. On retiendra par exemple le menu dégustation du chef Gaggan composé de 25 bouchées (Pourcel & Pourcel, 2017). Cependant, les chefs ont compris qu'il était nécessaire de structurer ces repas afin de maîtriser la continuité des plats et l'influence sensorielle qu'ils peuvent avoir les uns sur les autres. En effet, ici la complexité

est en partie révélée par la multitude de plats mais également par la continuité des sensations perçues au cours de ce parcours de dégustation.

A setenis

Comme nous avons pu le voir, dans le domaine de l'art et de l'esthétisme, la Théorie de la stimulation montre que la complexité a une influence sur l'appréciation. Cette influence est représentée selon une courbe en U-inversé (Berlyne, 1971). La complexité se caractérise également par sa collativité. En effet la perception de complexité dépend à la fois du niveau de complexité du produit mais également du niveau idéal de complexité souhaité par l'individu qui la perçoit. La littérature souligne également que la perception de complexité est influencée par le nombre d'expositions (Dember & Earl, 1957) et le type d'expositions (Zajonc, 1968 ; Walker, 1980). Plusieurs chercheurs ont examiné la notion de complexité dans des domaines très variés tels que la musique, l'art, le design, l'alimentation et la parfumerie. Par ailleurs, cette complexité est étudiée à travers différentes modalités : visuelle, auditive, olfactive, gustative et de texture. Enfin, en fonction du référentiel que l'on se donne, la littérature montre que la complexité peut être perçue différemment et à plusieurs niveaux.

Cette partie soulève cependant quelques questions :

— **La théorie de Berlyne peut-elle s'appliquer au domaine de l'alimentation et des boissons ?**

Comme nous avons pu le voir, cette théorie est fondée sur des expérimentation uniquement visuelles. Il n'est donc pas certain que ce soit également le cas pour la complexité perçue d'un aliment (construite à partir d'une expérience multidimensionnelle).

— **Pourquoi peu d'études se sont intéressées à plusieurs dimensions sensorielles en même temps ?** En effet, il est intéressant de noter que seulement Weijzen et al. (2008) ont regardé la complexité perçue de produits variant à la fois en complexité de texture mais également en complexité aromatique.

— **Comment définir et évaluer la complexité sensorielle de produits alimentaires ?** La complexité étant très fortement liée au domaine dans lequel elle est étudiée, il semble pertinent de se demander comment la complexité est définie et évaluer dans le domaine alimentaire

— **La complexité de mise en œuvre est-elle liée à la complexité sensorielle perçue ?** En effet, il apparaît que la complexité physique ne soit pas liée à la complexité perçue. Il serait donc intéressant de voir s'il existe un lien entre la complexité mise en œuvre et la complexité sensorielle perçue.

L'objectif de cette troisième partie est donc de revenir sur ces questions en se concentrant sur des études portant sur des boissons ou des produits alimentaires.

Sommaire

1. Introduction	44
2. Literature Search	46
3. Perceived Sensory Complexity.....	47
3.1 Overview of the 55 selected references	47
3.2 How to define complexity?	49
3.3 How to measure complexity?	51
3.4 How to manage stimulus complexity?	53
4. The effect of complexity on consumers' hedonic response.....	57
4.1 Overview of the 14 selected studies	57
4.2 Is the inverted U-curve found in the articles?	58
4.3 Which factors influence these divergent findings?	61
5. Conclusion and Outlook	64

Sensory Complexity and its influence on hedonic responses: a systematic review of applications in food and beverages

Julie Palczak^{a,b}, David Blumenthal^a, Michel Rogeaux^b, Julien Delarue^a

^a UMR GENIAL Ingénierie Procédés Aliments, AgroParisTech, INRA, Université Paris-Saclay, 91300 Massy, France

^b Sensory and Behavior Science Department, Danone Nutricia Research, France

Understanding the determinants of consumers' preferences is crucial for successful product development. Although it is rarely considered, perceived complexity is believed to be one important intrinsic product factor that may influence preference development (Lévy, MacRae, & Köster, 2006). Studies on perceived complexity are mostly based on the Theory of Arousal (Berlyne, 1971) that asserts that the influence of complexity on consumers' preferences can be represented as an inverted U-curve.

This article reviews the scientific literature on complexity in the field of food and beverages. A literature search was carried out on online catalogues using the search terms 'complexity' and 'preference' or 'hedonic' or 'liking'. Fifty-five relevant articles have been selected and analyzed for the ways authors define, manage and measure complexity. Fourteen of these articles addressed the link between complexity and hedonic response. One major result is that there is no consensus regarding the definition of complexity. In addition to physical complexity of products, definitions of perceived complexity can be divided into three categories: sensory, cognitive and emotional. A direct consequence of the diversity of the definitions is that there are many different ways to measure complexity, including sensory or instrumental methods. In order to generate different levels of complexity, authors play with the number of food components (ingredients, chunks, flavour notes). Besides, complexity is always studied for one sensory modality only (e.g. either aspect or texture or smell or taste). Overall, very little attention is paid to the temporal dimension of sensory complexity. Eventually, only one paper out of 14 found an inverted U-curve relationship between complexity and hedonic response as suggested by Berlyne's theory.

1. Introduction

In the food industry, sensory analysis is often used in conjunction with hedonic measurement to support product development and optimization. Since the 1990s, methods have been developed to model hedonic measurements using sensory data. These methods include statistical approaches such as preference mapping (Schlich & McEwan, 1992) or other modelling methods like Partial Least Square regression (Tenenhaus et al., 2005) or supervised methodologies (Phan et al., 2010). Other approaches, such as JAR scales (Popper & Kroll, 2005) and the Ideal Profile Method (Worch, Lê, Punter, & Pagès, 2013) make it possible to directly weigh the influence of sensory characteristics on hedonic response. One of the assumptions behind these approaches is that consumers' preferences

can be explained by the sensory characteristics of the products. However, the link between a hedonic measurement and a product's sensory characteristics may not be so direct and it may seem that other subjective and complex dimensions are also influencing judgement formation (Masson, Delarue, et al., 2016). Some researchers have tried to capture these factors that create multidimensionality, symbolism, and hedonism (David Labbe et al., 2009; Thomson, 2010). Among these factors, perceived complexity also seems an important underlying factor of preference development (Lévy et al., 2006) and especially due to its arousing capacity (Berlyne, 1967).

Studies on perceived complexity are mostly based on Berlyne's theory on the link between complexity and hedonic measurement. This theory asserts that, for each individual, hedonic response to a stimulus increases with its complexity until an optimal level is reached, then it declines (Berlyne, 1971). For each individual, this response may thus be represented with an inverted-U curve. This theory was developed in the field of experimental aesthetics (a branch of experimental psychology that studies the perception and evaluation of objects) in the 1980s, and it led to experiments that focused on visual patterns. It has also led to better understanding of musical composition and of the development of liking for more complex music (Heyduk, 1975).

It must be stressed here that the complexity of a given stimulus may not be perceived in the same way by different persons because it is a collative property (meaning it implies a comparison with previous experiences). Likewise, people may differ in the level of arousal that they prefer most. Berlyne also emphasizes the fact that considering complexity as a collative property makes it a dynamic property. Accordingly, he distinguishes between two phases when someone experiences a new product: a first phase during which the uncertainty about the product is resolved (called 'specific exploration' phase) and a later second 'diversive' phase in which optimal hedonic pleasure is sought (Köster & Mojet, 2016). This evolution in the way product-related information is processed thus implies that perceived complexity will change with exposure to the stimuli. This dynamic and interactive aspect of the relation between a subject's optimal level of complexity and the experienced product illustrates Dember & Earl's Theory (Dember & Earl, 1957; Dember, 1960). This theory also suggests that the speed of the displacement of someone's optimal level of complexity (i.e. the complexity he/she most likes initially) depends on three factors: (1) the starting optimal level of that person, (2) the distance between the complexity of the offered stimuli and the persons' optimal complexity and (3) the learning speed and willingness to experience the product. Thus, according to this theory, when someone encounters a complexity level that is higher than his own optimum, the optimal complexity level itself is likely to increase. Alternatively, exposure to a lower complexity will have no effect on that persons' optimal complexity level (Köster & Mojet, 2007). This is also in line with Walker's Theory (1980) which assumes that exposure to a stimulus leads to a decrease of the perceived complexity of that stimulus. It thus seems clear, according to these theories, that complexity cannot be considered as a fixed property.

The validity of Berlyne's theory has, however, caused division in the field of art. In fact, some results are consistent with this theory (Marin et al., 2016) and several others failed to obtain such an inverted-U curve experimentally (Martindale, Moore, & Borkum, 1990; Messinger, 1998; Osborne & Farley, 1970). Martindale, Moore, and Borkum (1990), for example, observed flat responses when

using visual patterns such as polygons, drawings, and paintings. Yet, Berlyne's theory remains attractive, especially in other fields where several researchers have studied the link between complexity and hedonic response to consumer goods. The link between complexity and hedonic response was first studied in fragrance (Jellinek & Köster, 1979, 1983), then in food by Köster (1985) and Porcherot & Issanchou (1998) as precursors followed by others teams (Kildegaard, Gabrielsen, & Thybo, 2011; Mielby, Kildegaard, Gabrielsen, Edelenbos, & Thybo, 2012; Olabi et al., 2015; Reverdy, Schlich, Köster, Ginon, & Lange, 2010; Soerensen, Waehrens, & Byrne, 2015; Weijzen, Zandstra, Alfieri, & de Graaf, 2008). Studies on complexity and hedonic responses have also been conducted on beverages (Giacalone et al., 2014; Lévy et al., 2006; Meillon et al., 2010; Stolzenbach, Bredie, Christensen, & Byrne, 2016; Sulmont-Rossé et al., 2008).

In the light of this literature on perceived complexity and its connection to hedonic measurement, it seemed useful to compare these studies in a literature review. Thus, we have explored the notion of complexity in food and beverages in order to query its influence on consumer hedonic responses. First, we will see how complexity is defined, created, and measured in these fields of application. Then, we will further analyze a sub-set of papers that have examined the link between complexity and appreciation. To conclude, we will review the consequences of and the lessons to be learned from this review for the field of sensory and consumer science.

2. Literature Search

This literature search was conducted in June and July of 2017. Major data bases were used (Web of Science, Science Direct, PubMed and Google Scholar) to identify the relevant literature. Several combinations of search terms were used: 'complexity AND preference', 'complexity AND hedonic', 'complexity AND liking'. Articles needed to be published between January 1970 and July 2017. Given the similarity of the fields of applications, we also searched the literature for studies on cosmetics and found only two references about fragrances, which are also included in this review. We considered only articles written in English.

Diverse criteria were used to decide whether an article would be included in or excluded from this review (Figure 15). First, we focused our research on the fields of food, beverages, and cosmetics, and on the area of Sensory and Consumer Research.

As shown in Figure 1, this initial process yielded 16,278 publications. In order to only include papers in our specific field and area, the titles, abstracts, and journals of publication were screened. This process resulted in 52 potentially relevant papers.

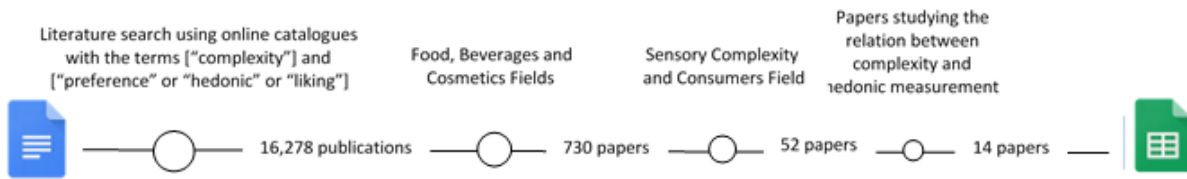


Figure 15. Literature search process used to select papers studying the relation between complexity and a hedonic measure between 1970 and 2017

A careful reading of these 52 references allowed us to select 14 papers that specifically addressed the link between complexity and a hedonic response. These 52 references were studied during the initial phase, and the sub-selection of 14 papers were studied in depth during the second phase. Three book chapters that bring significant material were also included (Köster & Mojet, 2007, 2016; Mojet & Köster, 2017).

3. Perceived Sensory Complexity

3.1 Overview of the 55 selected references

We categorised these references according to their objectives regarding complexity (Tableau 4). It should first be noted that the main goal of these papers was not always to study complexity in particular. Some of the authors studied complexity's influence on hedonic responses (Giacalone et al., 2014; Jellinek & Köster, 1979, 1983; Kildegaard et al., 2011; Lévy et al., 2006; Meillon et al., 2010; Mielby et al., 2012; Olabi et al., 2015; Porcherot & Issanchou, 1998; Reverdy et al., 2010; Soerensen et al., 2015; Stolzenbach et al., 2016; Sulmont-Rossé et al., 2008; Weijzen et al., 2008), on the perception of satiation (Larsen et al., 2016; Marcano et al., 2015; Tang et al., 2017, 2016; Weijzen et al., 2008), or more generally on behaviours and food choices (Köster, 2009; Lévy & Köster, 1999). Other authors focused on studying factors that influence the perception of complexity, such as expertise (Parr, Mouret, Blackmore, Pelquest-Hunt, & Urdapilleta, 2011; Schlich, Medel, Urbano, & Parr, 2015), exposure time to a stimulus (Köster, 2003; Sulmont-Rossé et al., 2008; Weijzen et al., 2008), or neophobia (Olabi et al., 2015). The complexity of a stimulus was also studied in order to understand sensory performance (Bitnes et al., 2009; Louw et al., 2014). Finally, the term 'complexity' was also sometimes used as a sensory attribute (Cardello et al. 2016; Crisinel and Spence 2012; Mielby et al. 2013; Paulsen et al. 2012; Paulsen, Rogns, and Hersleth 2015; Picard et al. 2015; Ruijschop et al. 2009; Sulmont 2002; Sunarharum, Williams, and Smyth 2014) or was merely cited in the text without being the main focus of particular study (Bouteille et al., 2013; Caillé, Salmon, Bouvier, Roland, & Samson, 2017; Chambers et al., 2016; Crisinel & Spence, 2012; Dinnella, Masi,

Zoboli, & Monteleone, 2012; Fenko, Kersten, & Bialkova, 2016; Jang, Kim, Lim, & Hong, 2016; Kremer, Shimojo, Holthuysen, Köster, & Mojet, 2013; Nsogning Dongmo, Procopio, Sacher, & Becker, 2016; Paulsen et al., 2013; Saint-Eve, Paçi Kora, & Martin, 2004; Vad Andersen & Hyldig, 2015a, 2015b; Veramendi, Herencia, & Ares, 2013; Zellner et al., 2010). These studies were conducted on products as diverse as food items, alcoholic beverages, non-alcoholic beverages, and fragrances. Eventually, other authors present extended discussions about complexity, product experience, its relationship with liking and the related theories (Köster & Mojet, 2007, 2016; Mojet & Köster, 2017; Schifferstein, 2010).

Tableau 4. All 55 publications from between 1970 and 2017 on complexity in the fields of food, beverages, and cosmetic

Complexity's place in the publication	Number of references	Bibliography
Study of complexity's influence on hedonic measurement	14	Giacalone et al., 2014; Jellinek & Köster, 1979, 1983; Kildegaard et al., 2011; Lévy et al., 2006; Meillon et al., 2010; Mielby et al., 2012; Olabi et al., 2015; Porcherot & Issanchou, 1998; Reverdy et al., 2010; Soerensen et al., 2015; Stolzenbach et al., 2016; Sulmont-Rossé et al., 2008; Weijzen et al., 2008
Study of factors influencing the perception of complexity: exposure time	3	Köster, 2003; Sulmont-Rossé et al., 2008; Weijzen et al., 2008
Study of factors influencing the perception of complexity: expertise	2	Parr et al., 2011; P. Schlich et al., 2015
Study of factors influencing the perception of complexity: neophobia	1	Olabi et al., 2015
Study of complexity's influence on sensory performance	2	Bitnes et al., 2009; Louw et al., 2014
Study of complexity's influence on satiation	5	Larsen et al., 2016; Marcano et al., 2015; Tang et al., 2017, 2016; Weijzen et al., 2008
Study of complexity's influence on general consumption behaviours	2	Köster, 2009; Lévy & Köster, 1999
Study of complexity's influence on the effects of contrasting preferences	1	Mazur, Drabek, & Goldman, 2018
Study of complexity as a sensory attribute	9	Cardello et al., 2016; Crisinel & Spence, 2012; Mielby, Jensen, Edelenbos, & Thybo, 2013; Paulsen, Rogns, & Hersleth, 2015; Paulsen, Ueland, Nilsen, Öström, & Hersleth, 2012; Picard, Tempere, de Revel, & Marchand, 2015; Ruijschop, Boelrijk, Burgering, de Graaf, & Westerterp-Plantenga, 2009; Sulmont, 2002; Sunarharum, Williams, & Smyth, 2014
Discussions about complexity, product experience, its relationship with liking and the related theories	5	E. P. Köster & Mojet, 2007, 2016; Egon Peter Köster, 2003; Mojet & Köster, 2017; Hendrik N J Schifferstein, 2010
Not the object of any particular study	15	Bouteille et al., 2013; Caillé et al., 2017; Chambers et al., 2016; Dinnella et al., 2012; Fenko et al., 2016; Jang et al., 2016; Köster et al., 2003; Kremer et al., 2013; Nsogning Dongmo et al., 2016; Paulsen et al., 2013; Saint-Eve et al., 2004; Hendrik N J Schifferstein, 2010; Spence et al., 2017; Veramendi et al., 2013; Zellner et al., 2010

We can also underline the fact that two theories framed the objectives of some articles. Indeed, articles studying the influence of complexity on hedonic responses are based on Berlyne's Theory (Berlyne, 1971). Articles studying the effect of expertise or exposure on the perception of complexity are based on Dember and Earl Theory (Dember & Earl, 1957; Dember, 1960, pp. 69–70).

3.2 How to define complexity?

Despite the fact that all of the articles discussed complexity, the first thing we noticed was that they did not all seem to be discussing the same concept. Only some of the authors specifically explained what they meant by complexity. Yet, the notions that were used seemed to refer to different aspects that could be divided into four categories: sensory, cognitive, emotional and physical. In addition to this, few authors view complexity as a collative property that depends both on the complexity of the product and the level of complexity acceptance of the perceiver (Giacalone et al., 2014; Köster & Mojet, 2007, 2016; Lévy et al., 2006; Mojet & Köster, 2017).

Some authors defined complexity as a sensory property of an often-multidimensional product. As can be seen in Tableau 4 complexity is often studied as a sensory attribute. In such an instance, the definitions given for complexity refer to the number of aromas, ingredients, flavours, or perceived sensations (Bitnes et al., 2009; Lévy et al., 2006; Meillon et al., 2010; Paulsen et al., 2015; Porcherot & Issanchou, 1998; Reverdy et al., 2010; Ruijschop et al., 2009; Weijzen et al., 2008). Complexity was also defined as the opposite of 'simplicity' considering a product with few sensations perceived as simple and a product with many sensations as complex (Soerensen et al., 2015; Stolzenbach et al., 2016; Sulmont-Rossé et al., 2008). Nevertheless, this last definition has been contested because the opposite of simplicity could also be 'difficulty' (Muller, 2004). James' team also specified in their papers that complexity includes the dynamic progression of sensations between the first bite and the last (Larsen et al., 2016; Tang et al., 2017, 2016).

Other authors defined complexity using the 'ease of identifying or not identifying the aromas present', with aromas that were less easy to identify being labelled as more complex (Lévy et al., 2006; Meillon et al., 2010; Porcherot & Issanchou, 1998; Ruijschop et al., 2009). There was also another, similar definition: complexity is the 'energy that must be spent to create a complete image of the product' (Mielby et al., 2013, 2012). These approaches hence refer to a cognitive dimension.

Besides, some authors studied the level of surprise elicited by the product in question (Reverdy et al., 2010). This dimension may be labelled as emotional, since it is often linked to how familiar a subject is with the product (Meillon et al., 2010). Here, familiarity is defined as the number of experiences the subject has had with the product in question. Contrary to these first three definitions which are based on perception and thus refer to 'perceived complexity', other authors defined complexity by referring to the physical complexity of the stimulus. They define complexity as the quantity and quality of the components present in the product, such as whether or not it contained pieces of fruit (Kildegaard et al., 2011), or contained a certain spice or aroma (Olabi et al., 2015).

However, it is important to distinguish between physical and perceived complexity. Erickson and Covey (1980) have shown for example that for mineral waters with different tastes, there is no one-to-one relationship between physical complexity and perceptual complexity. This can be explained by the fact that if two components are perceived one after the other, the overall perception of complexity will not be the same as if these two components had been perceived simultaneously (Schifferstein, 1992). Furthermore, Bitnes et al. (2009) suggest that the number of different components is not always consistent with the number of perceived stimuli. Indeed, they assert that certain components may enhance, suppress, or mask stimuli arising from other components. In addition to this, Jellinek and Köster (1979) have shown that the odor of one component can be perceived as more complex than a perfume containing 40 different components. This may be explained by the fact that the perceived complexity of mixtures appears to be capped at three (H. T. Lawless, 1999) or four (Livermore & Laing, 1998) components, supporting the assertion that humans have a limited capacity for discerning more components. One explanation is that the perception of mixtures can vary: components mixed together may for example lose their identity in giving the sensation of a new one ('configural perception'), or can be perceived separately and conserve their identity ('elemental perception') (Romagny et al., 2018)

Given this variety of definitions, it may be useful to return to the definition given by Berlyne (1967) to describe visual stimuli. Indeed, complexity is primarily considered as a collative property that depends both on the complexity of the product and the level of complexity acceptance of the perceiver (Köster & Mojet, 2016). The complexity of the product is also described as 'the number of independent units and their capacity to coexist and conflict'. In another work, Berlyne (1960, p38-39) shows that aesthetic complexity follows three rules: (1) 'Other things being equal, complexity increases with the number of distinguishable elements', (2) 'if the number of elements is held constant, complexity increases with dissimilarity between elements' and (3) 'complexity varies inversely with the degree to which several elements are responded to as a unit'.

In their work on fragrances, Jellinek and Köster (1979) propose one of the most complete approaches to complexity by proposing four definitions: (1) chemical complexity, which corresponds to the number of different components present, (2) perceived or psychological complexity, which corresponds to the number of perceived impressions, (3) perfumer's complexity, which corresponds to the variety of notes created by the perfume, which may be approached with sophistication, and (4) physiological complexity, which corresponds to the number of receptors stimulated by the odor.

Even though the definition given by Berlyne (1960, p38-39) cannot be transposed directly, it seems to be a good first approach. Yet, this theoretical framework certainly needs to be developed in order to include the temporal dimension of sensations perceived as suggested by others authors (Larsen et al., 2016; Meillon et al., 2010; Tang et al., 2017, 2016).

3.3 How to measure complexity?

A direct consequence of the diversity of the definitions described above is that there are many different ways to measure complexity. When authors focus on perceived complexity (referring to sensory, emotional, or cognitive dimensions), measurements can be based on direct or indirect sensory evaluations. We can talk about direct designation when authors ask study participants to directly report the complexity that they perceive. This evaluation may be done using scales (Giacalone et al., 2014; Lévy et al., 2006; Meillon et al., 2010; Porcherot & Issanchou, 1998; Schlich et al., 2015; Soerensen et al., 2015; Stolzenbach et al., 2016; Sulmont-Rossé et al., 2008; Weijzen et al., 2008) or comparisons (Reverdy et al., 2010). One of the limitations of this approach is that in order for data to be treated equally, all study participants must understand complexity in the same way (Köster, 2003).

Following Berlyne et al. (1965), Meillon et al. (2010) proposed an illustrated scale with pictures that grew increasingly complex with the addition of new forms and increasing asymmetry aimed at making the understanding of complexity easier (Figure 16).



Figure 16. Patterns used by Berlyne et al. (1965) for experiments (A) and the scale used by Meillon et al. (2010)

In the papers we analysed, evaluations using these direct scales were mostly done by consumers, with two notable exceptions. First, Mielby et al. (2012) measured complexity using trained panellists. These authors considered complexity to be a classical sensory descriptor which requires participants to be trained beforehand. However, they do not specify which methodology should be used to train panellists on this 'descriptor'. Second, Schlich et al. (2015) asked connoisseurs and wine professionals to directly measure complexity on a continuous scale. Interestingly, these authors found that even such experts disagreed in the way they rated complexity. In addition to these direct quantified evaluations of complexity, the use of open comments may allow further understanding of participants' perception of complexity and of underlying concepts (Marcano et al., 2015).

Indirect approaches to measuring complexity are also possible, using either sensory or instrumental methods. Basically, complexity can be treated as a criterion that involves different sensory parameters and that can be deduced from measurements taken of these various components. For example, Schlich and his team developed a questionnaire to investigate the sensory complexity of wines (Medel et al., 2009; Meillon et al., 2010) (Figure 17). It was comprised of an overall judgement

of complexity, as well as eight underlying dimensions: “familiarity, homogeneity, harmony, balance, the number of perceived aromas, the ability to identify sensations and the strength and persistence of flavour perception”. These dimensions were measured using continuous scales anchored with pictures.

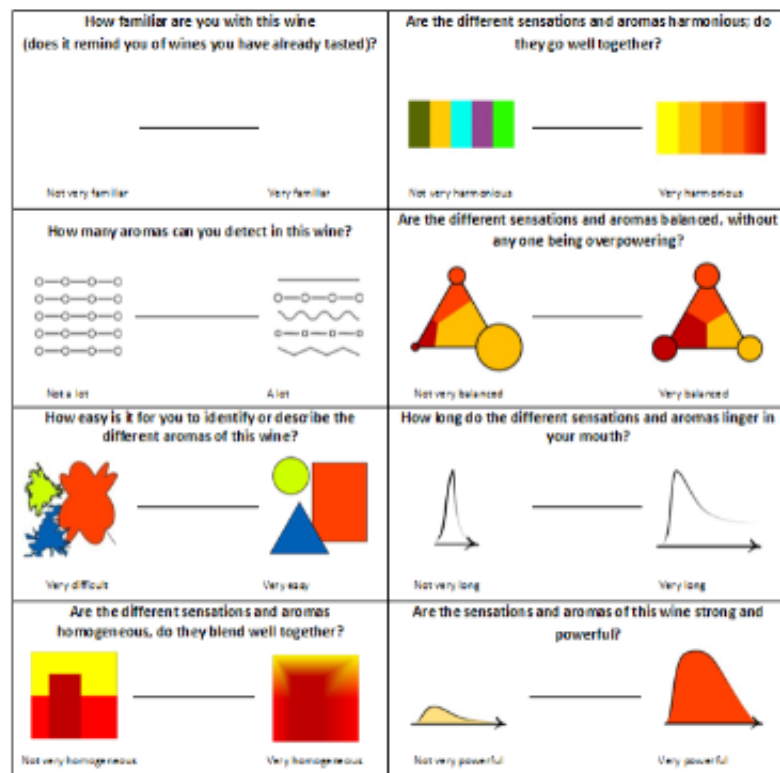


Figure 17. Questionnaire developed by Medel et al. (2009) to study the sensory complexity of wine

Given the importance of the temporal dimension, some authors also proposed using the Temporal Dominance of Sensation (TDS) to assess perceived complexity, with the assumption that complexity is related to the number of perceived sensations and mixtures (superimposition of sensations) in the mouth (Meillon et al., 2010; Paulsen et al., 2013; Tang et al., 2016). Larsen et al. (2016), also used TDS in addition to other measurements to study the connection between the complexity of a perceived texture, the changes in several perceived attributes of texture while chewing and swallowing, and the number of times the dominant texture changed. However, their results did not show any clear relationships between these variables. Furthermore, Dugas, Pineau, and Folmer (2012) used TDS profiles as an indirect way to measure complexity, using the lack of consensus among the panellists as a criterion. Finally, Larsen et al. (2016) examined the number of sensory descriptors generated in the first stage of QDA[®] and used it as a measure of complexity.

Other authors used instrumental measurements to study complexity, such as the number of peaks of the puncture curves (Tang et al., 2016), and the number of peaks in a gas chromatographic profile (Jellinek & Köster, 1983). These methods give complexity a physical definition. However, in most instances where the authors focused on physical complexity (studies that use products designed to be specifically complex), the level of perceived complexity is not measured (Reverdy et al., 2010). As underlined by Levy et al. (2006), this questions the relevance of such studies about complexity.

3.4 How to manage stimulus complexity?

Among reviewed articles where products were used, some authors selected or designed products based on desired levels of complexity (Tableau 6).

Tableau 5. Overview of studies where products are designed for their complexity

Author	Product	Product Design	Successful in eliciting differences in perceived complexity
Bitnes et al., 2008	Water, tomato soup and iced tea	Product altered by adding different basic tastes with different concentration	NA
Giacalone et al., 2014	8 experimental beers	Product altered by adding different flavour extracts to 2 commercially produced beers	YES
Jellinek and Köster 1979, 1983	9 odours in solutions	Products' chemical complexity was altered to range from one single chemical compound to several perfume compounds.	YES
	9 odours in cosmetic creams		YES
Kildegaard et al., 2011	2 groups of 4 smoothies	Products altered by adding / or not adding visible fruit pieces (group 1 vs group 2)	NA
	2 groups of 4 yogurts		NA
Larsen et al., 2016	2-5 Model Food	Product altered by adding different particulate ingredients and various layers	YES
Tang et al., 2016, 2017			
Levy et al. 2006	7 orange soft drinks	Products altered by adding very small quantities of different flavours to one orange soft drink: oil of lime, oil of coriander seed, peach infusion & oil of cardamom	YES
Marcano et al., 2015	6 cheese pies	Product altered by adding different visible ingredients: cream, wheat bran, ground coconut, flaxseeds and oat flakes	YES
Mielby et al. 2012, 2013	24 Pictures of fruits and/or vegetables	Pictures altered to vary the size of pieces, the colour of the pieces, the quantity and the type of pieces and the combination of fruit/vegetables	YES (linear relation was observed between pre-designed complexity and perceived complexity, $R^2 = 0,84$)
Olabi et al., 2015	8 food stimuli: 2 soups, chilli beans, hummus, vanilla mousse, mashed potatoes, compote and a chocolate bar	Products altered by adding a flavouring or spice	YES excepted for humus and one soup
Reverdy et al., 2010	5 types of mashed potatoes	Products altered by adding celery and nutmeg	YES
	5 grapefruit drinkable yogurts	Products altered by adding oranges and peaches	NO
	5 apple compotes	Products altered by adding mango and ginger	YES
Soerensen et al., 2015	5 dark solid chocolate bars	Products altered by adding flavours: beet, cinnamon, cardamom, liquorice	YES

Tableau 6. Overview of studies where products are selected for their complexity

Author	Product	Product Design	Successful in eliciting differences in perceived complexity
Mazur et al. 2018	5 pairs of 2 products	Product were chosen with 2 level of complexity : one plain, one flavoured	NA
Schlich et al. 2015	13 wines	Products were chosen for their different grape growing and winemaking practices (which modulate aroma complexity)	NA
Porcherot and Issanchou, 1998	5 crackers with different flavours	Flavours were chosen to create different levels of perceived complexity: some had one flavour and others mixed flavours	YES
Weijzen et al., 2008	3 soups	Products were chosen because they had slightly different levels of complexity and intensity (based on a previous study)	YES
	4 snacks	Products were chosen because they covered a wide range of complexity (based on a previous study)	YES

The first observation was that authors studied complexity using only one modality at a time: visual complexity, textural complexity, or aromatic complexity.

The most used method to vary a product's levels of complexity was the addition of an ingredient, flavour, or solid pieces of something. However, initial selection of products for their complexity did not always correspond with perceived complexity (Olabi et al., 2015; Reverdy et al., 2010). In other studies, the quantity used to alter complexity mattered less than the quality of the added flavours. Authors used flavours that were more or less familiar to design products that were more or less complex (Lévy et al., 2006; Porcherot & Issanchou, 1998; Weijzen et al., 2008). Some authors, however, highlighted the fact that it is difficult to design products that have different levels of complexity. Varying a product's complexity by adding ingredients can change other factors, such as a product's caloric content (Lévy et al., 2006) or texture (Larsen et al., 2016). One study on images of blended fruits and/or vegetables cut into pieces found a positive linear relationship between pre-designed complexity and perceived complexity (Mielby et al., 2012).

In four other studies, complexity was studied in products that were not initially chosen for their level of complexity (Tableau 7).

Tableau 7. Overview of studies where products were neither designed nor chosen for their complexity

Author	Product	Product Selection
Giacalone et al., 2014	8 market beers	Products were selected to represent the flavour diversity present in the beer market
Meillon et al., 2010	5 red wines	Product varied in the degree of dealcoholisation and the quantity of added sugar
Stolzenbach et al., 2016	4 apple juices	Products were selected for their differing overall sensory properties
Sulmont-Rossé et al., 2008	4 soft drinks	Products were chosen because their flavour was supposedly unfamiliar to the French population

In instances where products were not chosen for their complexity (Tableau 7), it was observed that some factors, such as the amount of alcohol present (Meillon et al., 2010), or the familiarity of the flavours present (Sulmon-Rossé et al., 2008), could increase perceived complexity.

4. The effect of complexity on consumers' hedonic response

As suggested in Berlyne's Theory, for each person, the hedonic response to a stimulus should increase with its complexity until his/her personal optimal level is reached, then it declines (Berlyne, 1971). This response may be represented with an inverted-U curve. In the following, we will examine whether this theory actually predicts observed relationships in application to product evaluation.

4.1 Overview of the 14 selected studies

Among the initially selected articles, a subset of 14 articles addressed the link between complexity and hedonic responses and are further analyzed in this section. Seven studies looked at food products (Tableau 8), five at beverages (Tableau 9) and two at cosmetics (Tableau 10). The selected studies were all quantitative studies of groups of between 10 (Meillon et al., 2010) and 268 (Kildegaard et al., 2011) participants.

Tableau 8. Food studies on the link between complexity and hedonic response between 1970 and 2017

Reference	Product	Objective of the paper
Kildegaard et al. 2011	Yogurts and smoothies	Examine how children's visual preferences varied depending on food appearance factors
Mielby et al., 2012	Fruit and vegetable mixes	Test if there is an inverted u curve between perceived complexity and subject visual preference
Olabi et al., 2015	Different dishes	Assess the acceptability of familiar and novel foods with varying levels of flavour complexity to food neophobics and neophilics
Porcherot and Issanchou, 1998	Crackers	Study how familiarity and complexity could explain liking and its change over time
Reverdy et al., 2010	Mashed potatoes, drinkable yogurts, compotes	Study the role of stimulus intensity and complexity in the development of preferences
Soerensen et al., 2015	Dark chocolate bars	Investigate long-term consumer liking when applying repeat exposure with perceived complexity and perceived arousal as conceptual attributes explaining mechanisms affecting liking.
Weijssen et al. 2008	Soups and snacks	Study the effects of complexity and intensity of foods on sensory specific satiety and acceptance after repeated consumption

Tableau 9. Beverage studies on the link between complexity and hedonic response between 1970 and 2017

Reference	Product	Objective of the study
Giacalone et al., 2014	Beers	Investigate consumers' hedonic response to flavour stimuli in light of Berlyne's inverted u curve
Lévy et al., 2006	Orange juice	Assess the influence of stimulus complexity on the development of liking
Meillon et al., 2010	Red wine	Determine the sensory dimensions that contribute to wine complexity and check any link with liking and temporal dominances of sensations
Stolzenbach et al., 2016	Apple juice	Investigate and understand liking in relation to sensory characteristics, consumer concept associations, arousal potential and appropriateness
Sulmont-Rossé et al., 2008	Soft drinks	Determining whether the evolution of liking scores during exposure depends on the initial arousal potential.

Tableau 10. Cosmetics studies on the link between complexity and hedonic response between 1970 and 2017

Reference	Product	Objective of the study
Jellinek & Köster, 1979	Odours in solutions	Investigate the impact of perceived fragrance complexity and its relation to familiarity and pleasantness
Jellinek & Köster, 1983	Odours in solutions and in cosmetic creams	Investigate the impact of perceived fragrance complexity and its relation to familiarity and pleasantness

4.2 Is the inverted U-curve found in the articles?

In the studies we reviewed, some authors specifically studied the effect of complexity on consumer hedonic response. Some authors relied on statistical analysis to investigate this (Tableau 11), while others based their conclusions on qualitative analysis (Tableau 12)

Tableau 11. Overview of the relations observed in the experiments

Author	Experiment in question	Is the inverted U-curve observed?	If NO, is another relationship observed?	Statistics
Mielby et al., 2012	Experiment using pictures of fruit	YES	N/A	p<0.0001
Mielby et al., 2012	Experiment using pictures of vegetables	YES	N/A	p<0.0001
Mielby et al., 2012	Experiment using pictures of fruits and vegetables	NO	U-curve	NS (p=0.331)
Giacalone et al., 2014	Experimentation using mass market beers	NO	Positive linear relationship	b=0.41, p<0.001
Giacalone et al., 2014	Experimentation using experimental beers	NO	Positive linear relationship	b=0.03, p<0.001
Jellinek and Köster 1983	Experiment using odours in solutions (female only)	NO	Positive correlation	Spearman rho = 0.224, NS (p>0.05)
Meillon et al., 2010	Experiment using red wines	NO	Positive correlation	Pearson correlation = 0.11, p=0.04
Porcherot and Issanchou, 1998	Experiment using crackers. Complexity is evaluated as the "number of odour notes"	NO	Positive correlation	Pearson correlation = 0.8 (in lab) Pearson correlation = 0.87 (in home) NS (p>0.05)
Stolzenbach et al., 2016	Experiment using apple juice	NO	Positive correlation	p<0.001
Jellinek and Köster 1979	Experiment using odours in solutions (male only)	NO	Negative correlation	Spearman rho = -0.667, p<0.05
Jellinek and Köster 1979	Experiment using odours in solutions (female only)	NO	Negative correlation	Spearman rho = -0.217, NS (p>0.05)
Jellinek and Köster 1979	Experiment using odours in solutions (all subjects)	NO	Negative correlation	Spearman rho = -0.563, NS (p>0.05)
Jellinek and Köster 1983	Experiment using odours in solutions (male only)	NO	Negative correlation	Spearman rho = -0.794, p<0.01
Jellinek and Köster 1983	Experiment using odours in cosmetic creams (male only)	NO	Negative correlation	Spearman rho = -0.224, NS (p>0,05)
Jellinek and Köster 1983	Experiment using odours in cosmetic creams (female only)	NO	Negative correlation	Spearman rho = -0.185, NS (p>0.05)
Porcherot and Issanchou, 1998	Experiment using crackers. Complexity is evaluated as the "difficulty to describe"	NO	Negative correlation	Pearson correlation = 0.89 (in lab) Pearson correlation = 0.95 (in home) p<0.05

Tableau 12. Overview of the relations observe with qualitative interpretation of experimentations

Author	Experiment in question	Is the inverted U-curve observed?	If NO, does another relationship isobserved?
Kildegaard et al., 2011	Experiment using smoothies	NO	Negative relationship
Kildegaard et al., 2011	Experiment using yogurts	NO	Negative relationship
Levy et al. 2006	Experiment using orange soft drink	NO	Negative relationship
Olabi et al., 2015	Experiment using different food stimuli with neophobics	NO	Negative relationship
Reverdy et al., 2010	Experiment using apple compotes	NO	Negative relationship
Kildegaard et al., 2011	Experiment using smoothies	NO	Negative relationship
Kildegaard et al., 2011	Experiment using yogurts	NO	Negative relationship
Olabi et al., 2015	Experiment using different food stimuli with neophilics	NO	NO
Reverdy et al., 2010	Experiment using mashed potatoes	NO	NO
Reverdy et al., 2010	Experiment using grapefruit drinkable yoghurt	NO	NO
Soerensen et al., 2015	Experiment using dark solid chocolate bars	NO	NO
Sulmont-Rossé et al., 2008	Experiment using soft drinks	NO	NO
Weijzen et al., 2008	Experiment using soups	NO	NO
Weijzen et al., 2008	Experiment using snacks	NO	NO

First, it is striking that only one study found inverted U-curves (Mielby et al., 2012). This study included three experiments that used images of a range of fruit and/or vegetables cut into pieces. The U-curve was observed for the images of fruits or vegetables when taken separately, but not when they were combined. It is interesting to note that it is the only study that looked at visual complexity. In the other papers, either positive (Giacalone et al., 2014; Meillon et al., 2010; Stolzenbach et al., 2016) or negative (Jellinek & Köster, 1979, 1983; Porcherot & Issanchou, 1998) relationships between complexity and hedonic response were observed.

We can see in Tableau 12 that seven negative relationships were observed, while the other experiments showed no relationship between complexity and the measured hedonic responses.

Given these results, there is clearly no consensus on the relationship between sensory complexity and a hedonic response. It would thus seem interesting to pay more attention on factors that can influence these divergent findings.

4.3 Which factors influence these divergent findings?

The first factor that may explain these divergent results relates to researchers' own view of complexity and subsequent data analysis. Indeed, as explained, complexity is a collative property. Thus to understand the effect of complexity on consumer hedonic response it is crucial to analyse or observe data at the individual level (Berlyne, 1971). In fact, individuals have their own level of optimal complexity and the spread in optimal complexity between subjects is expected to be large because consumers differ in their experiences. For instance, it is worth mentioning here that in the field of art, only the studies involving analysis at the individual or sub-group level found results in accordance with Berlyne's theory (Marin et al., 2016).

Yet, in the selected studies, only Levy et al. (2006) analyze their data at the individual level as suggested by Berlyne. In addition, one should bear in mind that people may show different response shapes: either a monotonic increase in preference or a monotonic decrease, as complexity goes up. Nevertheless, taking full account of interindividual diversity means that hedonic and complexity measurements should be done by the same participants, which adds experimental constraints.

Interestingly, the fact that Mielby et al. (2012) found the inverted U-curve even if they did not analyse their data at the individual level is probably because they study vision, contrary to other studies. Indeed, vision has an inborn perception mechanism that shows much less individual variability than senses like taste and olfaction (Köster, 2002; Köster, Møller, & Mojet, 2014). Besides, it is worth noting that Mielby et al. (2012) are the only ones who measured complexity with trained assessors (Table 6). As a matter of fact, training a panel amounts to providing a similar level of experience to panellists. In their case, this may have resulted in a more homogeneous group of individuals with

similar optimal levels of complexity. Mielby et al. could thus have constituted a uniform sample which may explain their unique results.

The second potential explanatory factor is the number and the range of products studied. In some experiments, only two products were studied, which makes it impossible to calculate a quadratic model. In the instances where three products were used, it was not possible to estimate the validity of the quadratic model (over-parameterized model). Furthermore, assuming that this inverted U-curve relationship exists, only a linear positive or negative relationship would be observed if the range of products doesn't cover the full range of complexity. For example, if the studied products convey a complexity lower than the optimal arousal level, this would result in a linear positive relation with the hedonic response. Put another way, only the upward curve of the U is observed. In other cases, studied products could all be near the top of the U-curve where the differences in hedonic responses are slight, hence resulting in a "flat" curve (Giacalone et al., 2014).

Finally, some authors have also found that extrinsic factors could influence perceived complexity: the level of expertise (Parr et al., 2011; Schlich et al., 2015), familiarity (Meillon et al., 2010), or gender (Jellinek & Köster, 1983; Mielby et al., 2012). Analysis of the 14 studies that investigate the complexity-hedonic response relationship reveal that these factors are usually not controlled (Tableau 13).

Tableau 13. Overview of the participants' characteristics for the different studies (only participants who evaluated the product complexity are included)

Reference	Product	Number of participants evaluating complexity	Participants selection's characteristics		
			Level of expertise	Level of familiarity with the product	Other characteristics
Giacalone et al., 2014	market beers	135 adults	no specific expertise (consumers)	measure after selection	
	experimental beers	122 adults	no specific expertise (consumers)	measure after selection	
Jellinek & Köster, 1979	solutions	59 adolescents and adults	no specific expertise (students)	N/A	
Jellinek & Köster, 1983	creams	47 adults	no specific expertise (students)	N/A	
	solutions	48 adults	no specific expertise (students)	N/A	
Kildegaard et al., 2011	smoothies	268 children (9-13 y.o.)	no specific expertise (children)	N/A	
	yogurts	252 children (9-13 y.o.)	no specific expertise (children)	N/A	
Lévy et al., 2006	orange and soft drink	168 adults	no specific expertise (consumers)	regular or frequent consumers	
Meillon et al., 2010	red wines	71 adults	no specific expertise (consumers)	regular consumers (at least 1/month)	
Mielby et al., 2012	pictures of fruits and/or vegetables	10 adults	high expertise (trained panel)	measure after selection	
Olabi et al., 2015	food stimuli (experiment 2)	28 adults	no specific expertise (students)	measure after selection	neophilics
		17 adults	no specific expertise (students)	measure after selection	neophobic
Porcherot & Issanchou, 1998	crackers	74+116 adults	no specific expertise (consumers)	regular consumers (at least 1/month)	
Reverdy et al., 2010	mashed potatoes	Complexity not measured			
	grapefruit drinkable yogurts	Complexity not measured			
	apple compotes	Complexity not measured			
Soerensen et al., 2015	dark solid chocolate bars	95 adults	no specific expertise (consumers)	regular consumers (at least 1/month)	
Stolzenbach et al., 2016	apple juices	196 adults	no specific expertise (consumers)	regular consumers (at least 2/year)	
Sulmont-Rossé et al., 2008	soft drinks	89 adults	no specific expertise (consumers)	measure after selection	
Weijzen et al., 2008	soups	62 adults	no specific expertise (consumers)	N/A	
	snacks	59 adults	no specific expertise (consumers)	N/A	

5. Conclusion and Outlook

This literature review shows that there is a wide array of definitions of complexity that refer to different sensory, cognitive, emotional, and physical factors. This diversity of definitions also means that there are many different ways to measure complexity. We have observed that it is important to distinguish between a product's physical complexity and the perceived or the sensory complexity. Notably, these dimensions may not relate directly to each other. Furthermore, when studying perceived complexity, it is absolutely essential that complexity is assessed by the participants and not by using instrumental measurements.

Some authors attempted to explore the temporal aspect of complexity and used TDS methodology for that purpose (Meillon et al., 2010; Paulsen et al., 2013; Tang et al., 2016). This method uses temporal data that seem to provide relevant information that explains how complexity is perceived. Further studies in that direction would be indeed promising. It must however be noted that TDS only takes into account the dominant sensations and purposefully sets aside subtle sensory characteristics which may have an important impact on perceived complexity, even if they aren't as powerful.

As for the influence of sensory complexity on hedonic response measurements, we noted that only one paper found an inverted U-curve relationship (Mielby et al., 2012), while the other papers we studied showed a diverse array of responses. Mielby et al. were the only one to study visual complexity, while the other articles looked at flavor complexity. The same logic can be seen in Berlyne's experiments, which also looked at visual aspects.

Several practical suggestions may be given after this review. Our first suggestion relates to data analysis, which should be done on the individual level. Knowing that each person has his/her own arousal potential level, it would be wise to cluster consumers based on their arousal potential level. In addition to this, we must stress that not only hedonic responses vary from person to person, which is widely acknowledged, but also the perception of complexity. Therefore, analysing data at the individual level means that hedonic and complexity measurements should ideally be done by the same study participants.

Our second suggestion would be to better define and measure complexity, whatever the focus: sensory, cognitive or emotional. Besides, as suggested by Köster & Mojet (2007) it is important to consider the collative nature of complexity that cannot be seen as a fixed product property.

In addition to this, when considering sensory complexity, it seems important to not neglect the multi-modal aspect of complexity and to take the products' static and dynamic sensory parameters into account.

Thirdly, we would recommend to use a number of products that would allow computing quadratic modelling (ideally, experiments would use no fewer than four products differing in perceived complexity).

Finally, extrinsic factors, such as expertise, familiarity or gender, should not be ignored in the design of future studies as they may also influence perceived complexity.

A setenis

Cette revue de la littérature montre la diversité de définitions utilisées par les auteurs pour parler de la notion de complexité. Ils se réfèrent à 4 principales dimensions : sensorielle, cognitive, émotionnelle et physique. Nous avons également observé qu'il était important de distinguer la complexité dite physique des trois autres qui sont perceptuelles. Cette diversité de définition signifie également qu'il existe différentes manières de mesurer la complexité.

Concernant l'influence de la complexité sensorielle sur une réponse hédonique, nous avons observé que seulement un article (sur les 14 sélectionnés) a pu démontrer la relation en U-inversé proposé par Berlyne (Mielby et al., 2012). Mielby et al. sont les seuls à avoir étudié la complexité sensorielle visuelle alors que les autres papiers se penchaient sur la complexité sensorielle aromatique, ce qui les rapprochent des expérimentations réalisées par Berlyne.

Grâce à cette revue, plusieurs suggestions pratiques ont été émises pour les futures scientifiques voulant étudier la notion de complexité :

- L'analyse de données de complexité doit se faire à l'échelle individuelle ou a minima après regroupement des individus ayant des niveaux de stimulation proches (i.e. niveau de complexité perçue où l'appréciation est la plus élevée) ;
- Mieux définir et mesurer la complexité perçue quel que soit la dimension considérée : sensorielle, cognitive ou émotionnelle ;
- Si l'objectif de l'étude est de montrer l'influence de la complexité sensorielle sur les préférences, les sujets évaluant la complexité perçue et l'appréciation des produits doivent être les mêmes ;
- Ne pas négliger l'aspect multimodal de la complexité perçue : prendre en compte le produit dans sa globalité tel que le consommateur le perçoit ; prendre en compte ses paramètres sensoriels de manière statique et dynamique ;
- Ne pas oublier de prendre en compte les facteurs extrinsèques pouvant influencer la perception de complexité : l'expertise, la familiarité et le genre ;
- Le choix ainsi que la mise en œuvre des produits doivent se faire de manière plus rigoureuse : les produits expriment souvent peu de différences de complexité perçue et la quantité de produits testés est souvent insuffisante pour estimer un modèle quadratique (i.e. une courbe en U).

Problématique

Pourquoi s'intéresser à la complexité d'un aliment ?

Dans le système industriel actuel, l'un des objectifs est de satisfaire les consommateurs de manière durable. Pour y répondre, comprendre ses besoins et ses attentes est un enjeu majeur. L'étude des préférences est donc utilisée comme un moyen d'accéder à son opinion vis-à-vis de produits. Cependant, comme nous avons pu le voir précédemment, nos préférences changent, ainsi comment faire pour qu'un produit puisse plaire de manière durable. Connaître les dimensions perçues pouvant avoir une influence sur les préférences est primordiale. La littérature reflète l'importance donnée par les scientifiques à considérer les caractéristiques sensorielles du produit pour comprendre les préférences. Il s'agit par exemple de connaître les caractéristiques sensorielles qui plaisent ou déplaisent aux consommateurs. Par ailleurs, d'autres dimensions telle que les dimensions subjectives peuvent également avoir une influence sur notre jugement (Köster, 2009). En effet, comme indiqué par Varela & Ares (2012), de plus en plus d'études sensorielles réalisées avec des consommateurs ont montré l'importance des dimensions subjectives pour les consommateurs dans la description d'un produit alimentaire. Parmi les dimensions subjectives étudiées, les travaux de littérature montre clairement l'intérêt de considérer la complexité (Köster, 2003). En effet, d'après la théorie de Berlyne, dans l'art et l'esthétisme, la complexité semblerait influencer les préférences selon une courbe en U-inversé (Berlyne, 1971). Cependant plusieurs critiques et réticences vis-à-vis de l'application de cette théorie au domaine de l'alimentaire et des boissons ont soulevées de nombreuses questions. En effet, la complexité reste une dimension sensorielle difficile à étudier et mal définie. Nous savons qu'elle ne relève pas uniquement de modalités sensorielles mais également de caractéristiques extrinsèques propres à celui qui la perçoit dû à son caractère collatif. Il est donc important d'investir plus de recherche pour éclaircir ces points.

Objectif de la thèse

L'objectif de cette thèse est donc de *mieux comprendre la notion de complexité sensorielle perçue dans l'alimentaire*. A travers cet objectif, nous examinerons également *l'influence de la complexité sensorielle perçue sur l'appréciation de desserts lactés*.

Précision du champ disciplinaire et de notre cadre d'étude

Le champ disciplinaire de cette thèse couvre les sciences sensorielles ainsi que l'étude des consommateurs. Par ailleurs, comme nous avons pu le voir précédemment, la complexité sensorielle est également une affaire d'expertise et d'expérience. Comme souligné par Bom Frøst & Janhøj (2007) l'étude d'une dimension subjective ne peut se faire qu'à travers un effort multidisciplinaire. Ainsi, nous avons choisi, en complément des approches classiques de ces deux disciplines, de travailler avec l'aide d'experts culinaires. En effet, ces dernières années, de nombreuses collaborations entre le milieu gastronomique et les sciences sensorielles ont montré le potentiel de considérer ce champs disciplinaire (Bom Frøst, 2018).

Comme nous l'avons vu, la complexité d'un produit dépend du type de complexité considéré et du produit étudié (Edmonds, 1995). Ainsi, dans cette thèse, nous avons choisi d'étudier la complexité sensorielle, c'est-à-dire la complexité qui résulte des caractéristiques sensorielles du produit : une complexité induite

par des dimensions visuelle, auditive, olfactive, ou gustative. Ne pouvant pas étudier l'ensemble de ces dimensions, nous nous pencherons davantage sur la complexité sensorielle gustative, aromatique et de texture. Nous avons également décidé d'étudier la complexité sensorielle de desserts frais lactés. Il s'agit d'une catégorie importante pour Danone, nous permettant également d'avoir une grande variété de produits en termes de texture et d'aromatisation.

Questions de recherche et enjeux scientifiques

Comme nous avons pu le souligner à travers la présentation des travaux de la littérature, plusieurs questions restent en suspens et appellent à des recherches approfondies. Voici celles qui seront étudiées à travers cette thèse :

- ① Comment définir la notion de complexité sensorielle ?
- ② Quelles sont les caractéristiques sensorielles influençant la perception de complexité sensorielle ?
- ③ Quelle est l'influence de la complexité sensorielle perçue sur les préférences des consommateurs ?

Pour répondre à ces questions, être capable de fournir des produits de complexité sensorielle variable est clé. Cependant peu d'auteurs se sont intéressés à la mise en œuvre de complexité sensorielle. Plus précisément, peu d'auteurs ont vérifié que la complexité sensorielle qu'ils mettaient en œuvre était bien en relation avec la complexité sensorielle perçue par le consommateur. Ainsi certains leviers techniques comme l'ajout d'arômes ou le contraste de textures ont été utilisés, mais leur influence sur la complexité sensorielle perçue n'est pas claire. *Le premier enjeu de cette thèse est donc de connaître les leviers techniques (ingrédients et procédés) permettant de concevoir de la complexité sensorielle.* Pour cela, nous travaillerons avec des experts culinaires à travers une première étude qui composera le chapitre 1 de ce manuscrit. Cette étude permettra également d'apporter des premières réponses à nos deux premières questions de recherche : ① Comment définir la notion de complexité sensorielle ? et ② Quelles sont les caractéristiques sensorielles influençant la perception de complexité sensorielle ? Ce chapitre a fait l'objet d'un article soumis à International Journal of Gastronomy and Food Science intitulé : *How do pastry and culinary chefs design sensory complexity.*

Afin d'identifier les caractéristiques sensorielles influençant la perception de complexité sensorielle, avoir une mesure sensorielle descriptive pertinente est primordial. En effet, comme nous avons pu le voir la complexité sensorielle se construit à partir d'une expérience sensorielle globale. Elle peut être le résultat d'une perception de sensations diverses et subtiles, de leur évolution temporelle au cours de la dégustation, du contraste des textures perçues, etc. Cependant, peu de méthodologies descriptives permettent de rendre compte des évolutions perçues au cours de la consommation d'une portion entière de produit. En effet, seuls quelques protocoles multi-gorgées ou multi-bouchées ont été mis en place tels que le DTS multi-gorgée, le CATA multi-bouchée ainsi que le Profil Séquentiel. Malheureusement ces méthodologies ont été développés pour caractériser une séquence de cuillères ou bouchées identiques ; ce qui n'est souvent pas le cas dans les desserts lactés frais où les produits sont souvent hétérogènes. *Le second enjeu de cette thèse est donc de proposer une méthodologie descriptive permettant de caractériser*

une l'expérience sensorielle amenant une perception de complexité. L'objectif du chapitre 2 sera donc de mettre en œuvre cette méthodologie et bien entendu de répondre à notre seconde question de recherche : ② Quelles sont les caractéristiques sensorielles influençant la perception de complexité sensorielle ? Ce chapitre a fait l'objet d'un article publié dans *Food Quality and Preferences: From consumption behavior to sensory measurement : sensory characterization of the perceived flavor complexity of a chocolate dessert experience*.

Enfin, le chapitre 3 permettra de répondre à notre troisième question de recherche : ③ Quelle est l'influence de la complexité sensorielle perçue sur les préférences des consommateurs ? En effet, plusieurs critiques ont été émises sur l'application de la théorie de Berlyne pour l'alimentation et les boissons. Les suggestions et recommandations données grâce à notre revue de la littérature seront mises en place dans cette étude. Comme nous l'avons vu, la perception de complexité ainsi que son influence sur les préférences peut varier d'un individu à l'autre. Le chapitre 3 aura également pour objectif de confirmer l'influence de la familiarité sur la perception de complexité dans un dessert frais lacté. Ce chapitre a fait l'objet d'un article intitulé *Influence of sensory complexity on preferences for novel gourmet dairy desserts. Does Berlyne's Theory apply to desserts?* Cet article a été soumis à *Food Quality and Preferences*

Par ailleurs, nous avons choisi de ne pas approfondir les moyens de mesure de la complexité. En effet, il existe déjà une grande variété d'échelles. Dans l'ensemble de nos expérimentations, nous avons choisi de travailler avec l'échelle la plus couramment utilisée : une échelle continue non structurée variant de « ce produit n'est pas complexe » à « ce produit est très complexe ». Cependant ce point sera discuté à la fin de ce manuscrit.

La Figure 18 représente le schéma de nos questions de recherche et enjeux scientifiques

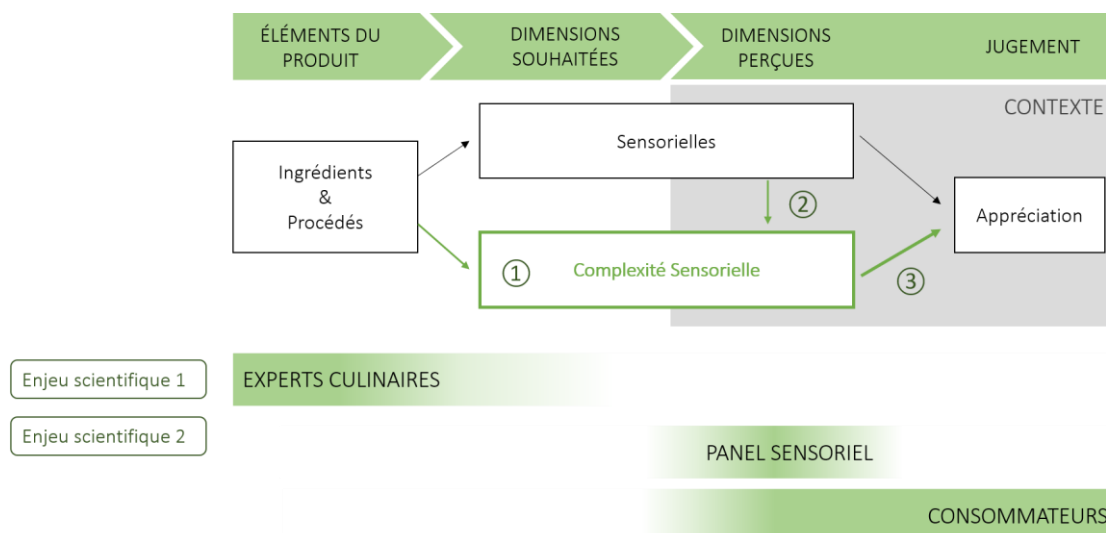


Figure 18. Schéma des questions de recherche et enjeux scientifiques (adapté de Hassenzahl, 2001)

CHAPITRE 2

Comment des chefs cuisiniers et des chefs pâtisseries mettent en œuvre de la complexité sensorielle ?

Article 2

Les nouveaux produits présents sur le marché montrent que la complexité est souvent un moyen d'innover. Par exemple, dans la catégorie des produits laitiers frais, les processus d'innovation ont permis d'améliorer et valoriser les yaourts en des desserts gourmands. Ces innovations sont souvent caractérisées par plusieurs couches aux textures et/ou aromatisation variées. Cependant, une question reste en suspens : Jusqu'où doit aller l'innovation en termes de complexité ? Comment la complexité d'un produit alimentaire peut-elle être mise en œuvre ? Cette complexité structurale est-elle perçue par les consommateurs ? Dans cet article, nous nous proposons de répondre à ces questions en suivant une approche en quatre étapes. Premièrement, il a été demandé à dix chefs pâtisseries et cuisiniers de l'Institut Paul Bocuse de concevoir trois déclinaisons de la recette de leur choix variant en complexité : faible, moyenne et forte. Les déclinaisons choisies devaient être soit salées soit sucrées, être consommées froides et servies dans des verrines opaques. Deuxièmement, les chefs étaient invités à participer à une interview individuelle d'une heure permettant de comprendre comment il/elle avait souhaité travailler la complexité. Troisièmement, une session de dégustation a été mise en place avec cinq dégustateurs pour caractériser sensoriellement chaque verrine produite. Quatrièmement, quinze participants naïfs (150 au total) ont évalué la complexité de chaque verrine, par triade (de manière équilibré). Les résultats montrent que les chefs utilisent différentes stratégies de conception pour mettre en œuvre de la complexité. Ils combinent différentes aromatisations et goûts, ils contrastent les textures, ils construisent des expériences temporelles et ils tentent de surprendre le consommateur. Les résultats sensoriels nous permettent de montrer l'impact de ces stratégies sur les caractéristiques sensorielles des produits. Les résultats des participants naïfs nous ont permis de vérifier que les produits présentaient bien les niveaux de complexité attendus par les chefs. Cette étude permet d'identifier différentes manières d'aborder la conception de produits alimentaire à travers la maîtrise de la complexité sensorielle. Elle souligne également les bénéfices pour la science de travailler en collaboration avec des chefs.

Sommaire

1. Introduction.....	76
2. Materials and Methods.....	79
2.1 General design	79
2.2 Participants	79
2.2.1 Chefs	79
2.2.2 Tasters	80
2.2.3 Naive participants	80
2.3 Data collection, coding and analysis	81
2.3.1 Technical parameters	81
2.3.2 Chefs' expertise	81
2.3.3 Technical tasting session	82
2.3.4 Naive participants' perceived complexity	83
3. Results.....	83
3.1 Characterization of the verrine triads	83
3.1.1 Technical parameters	83
3.1.2 Chefs' expertise	84
3.1.3 Technical tasting	85
3.1.4 Perceived complexity	85
3.2 Principles for designing complexity	86
3.2.1 Combine different flavors and tastes	87
3.2.2 Contrast textures	88
3.2.3 Build a temporal experience	90
3.2.4 Surprise the consumer	92
3.2.5 Limits	94
4. Discussion.....	94
5. Conclusion.....	96

How do pastry and culinary chefs design sensory complexity

Julie Palczak^{a,b}, Agnes Giboreau^c, Michel Rogeaux^b, Julien Delarue^a

^a UMR GENIAL Ingénierie Procédés Aliments, AgroParisTech, INRA, Université Paris-Saclay, 91300 Massy, France

^b Sensory and Behavior Science Department, Danone Nutricia Research, France

^c Institut Paul Bocuse Research Center, Château du Vivier, 69130 Ecully, France

New products offer a benchmark showing how complexity is often a driver of food innovation. For example, in the dairy category, innovation processes have upgraded yogurts to gourmet desserts. These innovations are often characterized by different multi-textured and/or multi-flavored layers. However, there are still unanswered questions: How far should innovation go in terms of complexity? How can food complexity be designed? How is structural complexity perceived by consumers? Here we set out to answer these questions following a four-step approach. First, ten pastry and culinary chefs from the *Institut Paul Bocuse* were asked to design three variants of a recipe of their choice varying in complexity: low, medium and high complexity. First, the product was to be sweet or savory but consumed cold and served in an opaque verrine. Second, each chef was invited to an individual one-hour interview to understand how he/she intended to deliver complexity. Third, a technical testing session was set up with five tasters to perform sensory characterization of each sample. Fourth, fifteen naive participants (150 in total) evaluated the complexity of each sample within a triad (balanced order). The results showed that the chefs used different design strategies to attain complexity. They combined different flavors and tastes, they contrasted textures, they built temporal experiences, and they aimed to surprise the consumer. The sensory results attest the effect of the strategies used, and results from naive participants confirm that the products exhibited the expected complexity levels intended by chefs. This study identifies several ways to drive food design through mastery of sensory complexity. It also highlights the benefits for the science of working with chefs.

1. Introduction

Food innovation can be considered as a process of combining ingredients using new techniques and/or elements. Innovations can also be a result of a combination of ingredients from existing recipes (Messeni Petruzzelli & Savino, 2014). The process of innovation should account for the mastery of complexity where ingredients, texture and taste merge to create this complexity. It has even been theorized that complexity could influence consumer preferences (Berlyne, 1971), which means that accounting for product complexity before launch could serve to avoid certain food product failures (E.P. Köster & Mojet, 2007). An innovation also brings significant and obvious benefit for consumers: it increases the variety of options available with a variation in combinations of ingredients, texture, taste, and product shapes and sizes. In the dairy category, for example,

innovation has upgraded yogurts to gourmet dairy desserts, thus changing the face of dairy market shelves. The latest gourmet dairy dessert innovations feature desserts complexified with multiple textures, flavors or layers.

Pastry and culinary chefs also design complexified recipes in haute cuisine. Two famous French pastry chefs extended and complexified traditional desserts, turning the French Eclair and Macaron into a huge playground for experiments with a wide variety of tastes and textures. The French Eclair had always been made with a choux pastry and a vanilla cream, often perceived as sweet with soft texture, but Chef Christophe Adam managed to bring this traditional Vanilla Éclair a texture contrast and a bittersweet taste by adding roasted pecans inside and on top (Figure 19 - A). The Macaron has always been known as a cookie made only with sweet meringue and ground almond, but today, Chef Pierre Hermé proposes Macarons made with two cookies filled with a ganache and a marmalade in between. His 'Ispahan' Macaron combines three unusual sensations: sweet rose, litchi, and fresh raspberry (Figure 19 – B). In these two examples, we can suppose that the addition of texture and taste increases perceived complexity. The addition of new ingredients can help revisit and revise traditional recipes, providing countless creative possibilities.



Figure 19. Two desserts illustrating complexity in the culinary world – (A) The Vanilla Pecan Eclair (Chef Christophe Adam), (B) The Ispahan Macaron (by Chef Pierre Hermé)

However, the fact that complexity might be a driver of these innovations is far from evident. Indeed, chefs rarely talk about 'complexity', preferring other words such as harmony, balance or uniqueness (Charles Spence & Wang, 2018b). Chefs rarely employed the notion of complexity in interviews or cookbooks when they describe their cuisine or introduce a dish. This makes it interesting to better know the role of complexity in food innovation, and more specifically in the way culinary and pastry chefs master the complexity of a food product, as there is little literature on role of complexity in food design.

According to the literature, the principle most often used to design complexity is the addition of an ingredient or an element (Bitnes et al., 2009; Giacalone et al., 2014; Kildegaard et al., 2011; Marcano et al. 2015; Olabi et al., 2015; Reverdy et al., 2010; Soerensen et al., 2015; Tang et al., 2017, 2016). It is also reported that the quality of the ingredient added can alter product complexity. Some authors have used unusual flavors to design complex products (Lévy et al., 2006; Porcherot & Issanchou, 1998; Weijzen et al., 2008), but they only investigate the desired complexity, without looking at perceived complexity. In a paper by Mielby et al. (2012) on visual complexity, the authors checked whether intended complexity was consistent with perceived complexity. Their results show different principles to design visual complexity: (1) the size of the products in the mix, (2) the amount of different colors, (3) the color contrast between products in the mix, (4) the amount of different products in the mix, (5) the product types, and finally (6) the combination of fruit and vegetables in the mix. To go further, it would be informative to investigate principles for designing in-mouth perceived complexity.

To determine and understand principles for designing in-mouth perceived complexity, we chose to work with culinary experts for their holistic vision of food and their expertise (Bom Frøst, Giacalone, & Rasmussen, 2015; Bom Frøst, 2018; Giboreau, 2017). Culinary professionals work with their senses and have a highly educated palate. They are both artists and skilled workers, with a clear vision of the desired result of their final product. The main objective of this work is to identify principles for designing complexity in culinary expert practices. A secondary objective is to address the following questions: *How far can a product go in terms of complexity? How is complexity perceived as way to innovate?* To answer these objectives, we decided to focus only on in-mouth perceived complexity, as Mielby et al. (2012) have already discussed ways to design visual complexity. To answer these questions, we asked ten chefs to design products varying in terms of complexity. During individual semi-structured interviews, the chefs were questioned about their perception of complexity and the principles used to design perceived complexity. A test was performed with naive participants to confirm that desired complexity matched perceived complexity. Finally, a technical tasting session was set up to characterize the sensory impacts of increasing perceived complexity.

2. Materials and Methods

2.1 General design

This study used a 3-step approach (Figure 20). All phases took place at the Institut Paul Bocuse (France).

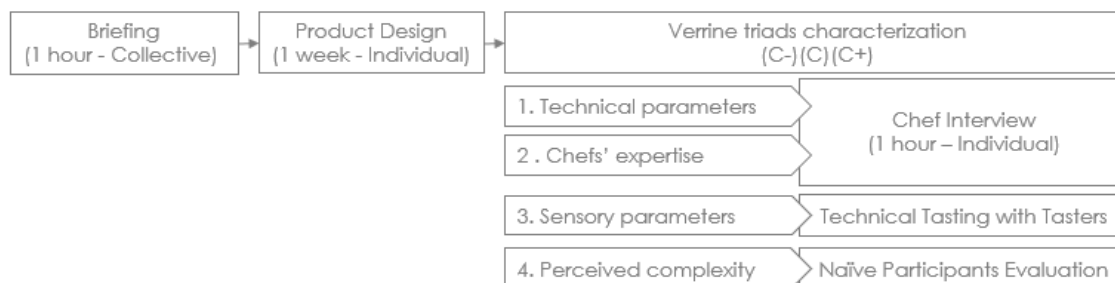


Figure 20. Steps used in the study

The chefs were given a briefing to explain the instructions and constraints. They were asked to design three variants of a recipe of their choice (a triad) varying in in-mouth perceived complexity, i.e. low (C-), medium (C) and high complexity (C+). No information about the notion of complexity was given. Products were to be consumed cold and served in an opaque 150 mL cup (a ‘verrine’). Opaque cups were used to limit any visual work from the chefs and focus their creation on in-mouth sensations. The verrine version was chosen to be as close as possible to spoonable market products. The chefs had a maximum budget of 2€ per verrine. In accordance with their field of expertise, chefs were assigned to make savory products or sweet desserts. Considering the different ways to characterize product triads, chefs were asked to make 25 copies of each product. After the briefing, the chefs were invited to individually experiment, taste and make their triads during one week. They were free to explore and design their products alone, with no observer. At the end of the week, the chefs gave their shopping lists to order the materials and ingredients needed. Each chef was invited to prepare his/her triads a few hours before triad characterization. Products were stored in a cold room and coded. Finally, each triad was characterized according to (1) technical parameters, (2) chefs’ expertise, (3) sensory parameters, and (4) perceived complexity.

2.2 Participants

2.2.1 Chefs

Ten French chefs were chosen for their expertise, knowledge and availability to participate in the study. All the chefs currently work at the Institut Paul Bocuse in France. Five of them are pastry chefs,

while the five others are culinary chefs (Tableau 14). Characteristics of the culinary and pastry chefs who participated to the study (Tableau 14). Most of the chefs have extensive experience as either chef, culinary advisor or instructor, ranging from seven to thirty-four years. The expertise of Culinary Chef 2 is further confirmed by his title of *Meilleur Ouvrier de France (MOF)* in *Cuisine* obtained in 2011, and Pastry Chef 3 won second place at the European Sugar Championship in 2019.

Tableau 14. Characteristics of the culinary and pastry chefs who participated to the study

	Years of experience	Type of experience	Type of product
Pastry Chef 1	34 years	Pastry chef (at 2- & 3-stars Michelin restaurants)	Dessert
Pastry Chef 2	23 years	Pastry chef (at 3-stars Michelin restaurant)	Dessert
Pastry Chef 3	8 years	Pastry chef Vice Champion at the European Sugar Championship 2019	Dessert
Pastry Chef 4	23 years	Pastry chef (at 2-stars Michelin restaurant)	Dessert
Pastry Chef 5	15 years	Chef	Dessert
Culinary Chef 1	15 years	Chef	Savory
Culinary Chef 2	14 years	Chef (at 3-stars Michelin restaurant) MOF Cuisine 2011	Savory
Culinary Chef 3	22 years	Chef (at 1-star Michelin restaurant)	Savory
Culinary Chef 4	7 years	Chef	Savory
Culinary Chef 5	13 years	Culinary advisor	Savory

2.2.2 Tasters

Five tasters, i.e. project members experienced in products tastings, were invited to participate in technical tasting sessions. The tasters were four women and one man, aged between 26 and 54 years. They were aware of the different objectives of the project.

2.2.3 Naïve participants

One hundred and fifty French participants were recruited from among the employees, professors and students of the Institut Paul Bocuse. The participants were adults (115 women and 35 men), aged between 18 and 63 years (mean age = 30 y.o.), randomly assigned to one of the 10 triads. Before starting the tasting session, participants were made aware of their participation in a study, but not of the study objectives. They volunteered to participate in the experiment and were rewarded with some sweet treats.

2.3 Data collection, coding and analysis

2.3.1 Technical parameters

The chefs were asked to fill out a recipe sheet indicating the number of ingredients used, the techniques employed, and the approximate time to design the 25 copies of each product. Triads were also photographed from the top and front using a portable photo box (APIC) under standardized light and distance. Number of ingredients used, number and type of culinary operation steps and approximate time to design the products were referenced in a spreadsheet.

2.3.2 Chefs' expertise

The chefs were invited to a one-hour individual interview to understand how they intended to deliver complexity. Each chef was interviewed by the same experimenter, in a quiet private room. Interviews followed a semi-structured guide consisting of a list of topics (Tableau 15). Questions asked during the interviews were developed to prompt discussion about the concept of complexity in general, ways used to create complexity, perception of in-mouth complexity, and importance (or not) of having in-mouth complexity for consumers. The chefs were also invited to recount one of the most complex culinary experiences they had enjoyed, and explain why. Other topics were also discussed as they were voiced by the chefs as connecting complexity to innovation in culinary practice. Interviews were recorded by project members who were able to ask questions at the end of the interview.

Tableau 15. Topics and questions asked during the interview

Topics	Questions asked
Chef introduction	Who are you? Why and when did you decide to become a chef? What is your culinary expertise? Could you describe your different experiences? Where do you find your inspiration? What is your favorite dish/desert, and why?
The concept of complexity in general	What does the term complexity mean for you? Do you use it when you talk about a dish? What word could you use instead of 'complexity'?
In-mouth perceived complexity	What does in-mouth perceived complexity mean for you? What are the differences perceived between a complex and non-complex dish?
Principle for designing in-mouth complexity	What product did you choose to design complexity? Why? How did you design in-mouth complexity? What are the differences we should perceive within the triad?
Complexity and consumers (or clients)	Is it interesting for the consumer to have in-mouth perceived complexity? Why? Among the verrines proposed, which one could you choose for a banquet and why? Could you use complexity to describe a dish to a client (as we do for wine for example)? Why?

The recorded interviews were transcribed, and two independent judges read each transcription several times to highlight individual and shared comments on the topics addressed. Verbatims belonging to the same concept were gathered to extract all relevant ideas. Inside each concept, assigned sentences or words were discussed to find more accurate concepts. As fieldwork took place in France, all discussions were in French: after the analysis was performed, verbatims were translated into English and checked by a native English speaker.

2.3.3 Technical tasting session

Then, a tasting session was set up to characterize the sensory profile of each verrine with the chef and five tasters who were project members. All participants were asked to give a list of perceived textures, tastes and flavor attributes, using their own vocabulary. They were also asked to specify their first sensations and aftertaste (when appropriate) in order to give some insights into the temporality of their sensations. Tasters were free to give additional comments.

After filling out their individual tasting sheet, the participants discussed the results for each product to reach a consensus. This was done for the purpose of comparing differences within a triad. For each product, the description was visually represented using circles. This served to represent only flavor and taste with an indication of their intensity (major, secondary and subtle) and a temporal position (top, middle and lasting) (Figure 21). For texture, all attributes were collectively ranked from most to least present.

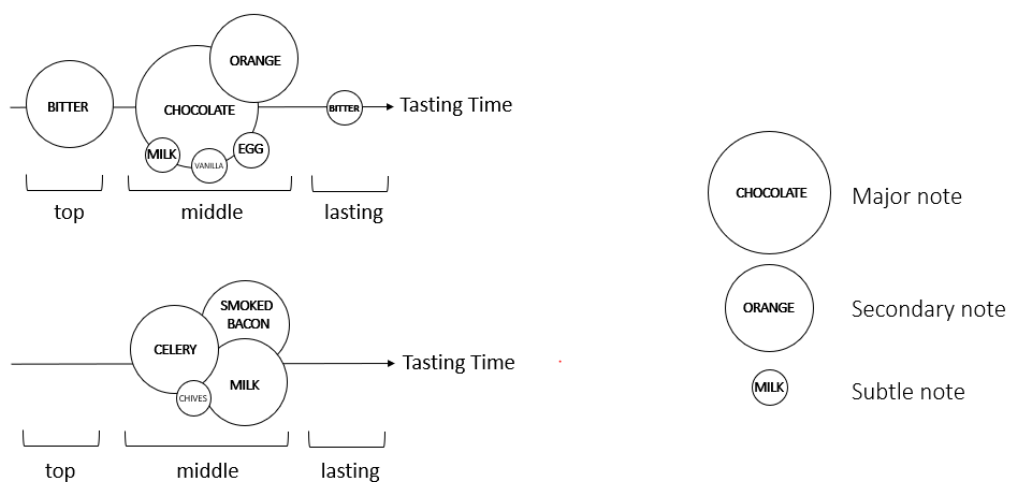


Figure 21. Caption used to characterize each verrine

2.3.4 Naive participants' perceived complexity

A test with naive participants was organized to confirm whether the products exhibited the expected complexity levels intended by the chefs. Each participant was asked to rank samples from least in-mouth perceived complexity to most in-mouth perceived complexity. No definition of complexity was provided. They were invited to explain and comment the way they evaluated in-mouth complexity.

Ranking data obtained from the test were analyzed with a Page Test (significant threshold at 0.05). Furthermore, the words quoted by participants in the open questions were analyzed according to their frequency of occurrence.

3. Results

Four types of data were obtained: technical parameters, sensory parameters, chefs' knowledge, and naive participants' perceived complexity. These data were used to better understand the concept of complexity and to identify principles for designing complexity. After analysis of the verbatims obtained with chefs' interviews and participants' evaluations of complexity, different principles were obtained. These principles were gathered to be compared and then refined. Technical and sensory parameters helped to provide a deeper characterization of final principles obtained.

3.1 Characterization of the verrine triads

3.1.1 Technical parameters

The triads proposed by chefs were all built around one or two main ingredients, detailed in Tableau 16. These ingredients were chosen for their seasonality (experimentations were conducted in November) and their possibility to be consumed cold.

Tableau 16. Technical parameters for all triads. Superscript letters denote significant differences ($p < 0.05$) between C-/C/C+ products using LSD post-hoc analysis (C-: Low complexity, C: Medium complexity, C+: high complexity)

Designer	Main Ingredient	Number of ingredients			Number of technics used			Time to make (minutes)		
		C-	C	C+	C-	C	C+	C-	C	C+
Pastry Chef 1	Lemon	4	6	10	2	3	4	30	35	40
Pastry Chef 2	Chocolate	3	7	9	1	4	5	10	20	25
Pastry Chef 3	Chocolate	4	8	12	1	3	6	30	45	60
Pastry Chef 4	Apple & Vanilla	4	5	10	4	4	8	20	30	45
Pastry Chef 5	Lemon	12	15	18	4	5	6	40	45	50
Culinary Chef 1	Celery and Bacon	4	6	10	2	3	4	30	35	40
Culinary Chef 2	Foie Gras	5	8	10	1	2	3	20	40	50
Culinary Chef 3	Artichoke	9	11	16	2	4	4	20	25	35
Culinary Chef 4	Avocado & Salmon	9	11	15	2	4	4	20	35	45
Culinary Chef 5	Mushroom & Bacon	5	8	9	2	3	4	25	30	35
Mean for Pastry Chefs		5.4	8.2	11.8	2.4	3.8	5.8	26	35	44
Mean for Culinary Chefs		6.4	8.8	12	1.8	3.2	3.8	23	33	41
Global mean		5.9 ^A	8.5 ^A	11.9 ^B	2.1 ^A	3.5 ^B	4.8 ^C	24.5 ^A	34 ^B	42.5 ^C

The technical parameters showed that for all chefs, the number of ingredients, number of techniques used, and time used to make products increase with degree of designed complexity (Table 3). Note that pastry chefs used more techniques than culinary chefs. For example, Pastry Chef 4 (PC4) used eight techniques for a highly complex product (zesting, emulsifying, jellying, whisking, cooking, drying, candying and poaching) while for the same level of complexity, Culinary Chef 2 (CC2) used only three techniques (whisking, jellying and cutting). For all chefs, whether pastry and culinary, whisking and mixing were the two techniques most often used for low-complexity products.

Pictures of each triad can be found in Appendix 1

3.1.2 Chefs' expertise

According to the chefs, complexity is a word rarely used in gastronomy: "I don't use the term 'complexity', I talk more about roundness, richness, balance or elaborate", "usually I don't use complexity, I talk about diversity or variation". Complexity appears to them as nonconsensual: "complexity is like creativity; each individual will have their own definition", "according to me, complexity is ...", "I don't know what my colleagues told you, but my vision is ...". Furthermore, even if they can converse around the term complexity, they will not use it with their clients: "we can't speak to a client about the complexity of a dish, it will be perceived negatively", "it's a word that's too difficult for consumers to understand". In contrast, complexity seems to be perceived as a mood,

a way to see the gastronomy: “Complexity is the interpretation chosen by the chef to realize a dish”, “Complexity is what allows a dish to give you a memorable experience”. Finally, they perceived complexity as at the heart of a holistic experience: “complexity will bring the diversity in a dessert”, “complexity is the time needed to understand a whole experience: what are the main ingredients? what is story behind this dessert?”, “complexity runs is from your first visual impression to the souvenir you will keep, including the tasting”.

3.1.3 Technical tasting

The technical tasting session was performed with the five tasters. Each taster took around 10 minutes to taste and evaluate each triad. The participants discussed the results for 15 minutes to reach a consensus sensory characterization of each product. Figure 22 is an example of results obtained after discussion with tasters for the PC3 triad.

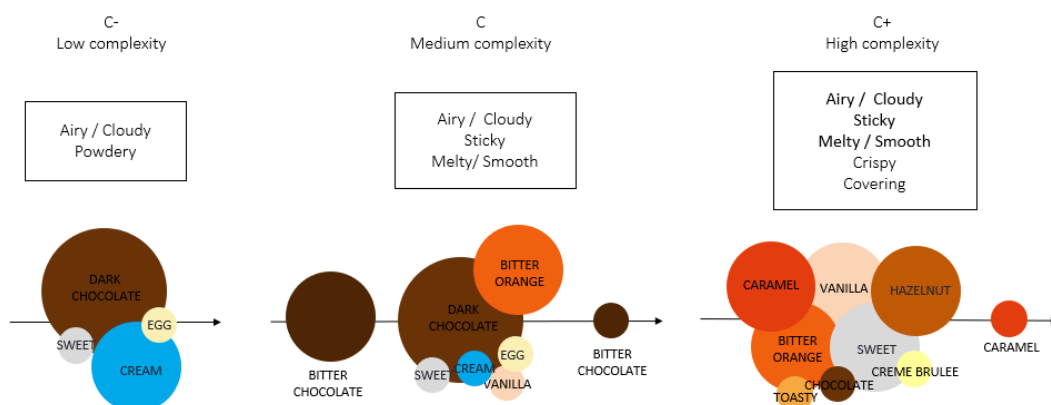


Figure 22. Sensory characterization for the PC3 triad

3.1.4 Perceived complexity

The ranked orders of complexity as perceived by naive participants were in line with the gradients of complexity intended by the chefs for nine out of ten triads (Page tests ($p < 0.05$);

Tableau 17). For only one triad (CC5 verrines), participants only perceived differences between the low and the high intended complexity variants. Furthermore, differences in perceived complexity were larger for desserts triads than for savory ones.

Tableau 17. Results of perceived complexity evaluation. Superscript letters denote significant differences ($p < 0.05$) between C-/C/C+ products using LSD post-hoc analysis (C-: Low complexity, C: Medium complexity, C+: high complexity)

Designer	Main Ingredient	Perceived Complexity Evaluation			
		Sum of Ranks			p-value
		C-	C	C+	
Pastry Chef 1	Lemon	20 ^A	30 ^B	40 ^C	0.0001
Pastry Chef 2	Chocolate	20 ^A	29 ^B	41 ^C	< 0.0001
Pastry Chef 3	Chocolate	20 ^A	26 ^B	44 ^C	< 0.0001
Pastry Chef 4	Apple & Vanilla	19 ^A	27 ^B	44 ^C	< 0.0001
Pastry Chef 5	Lemon	22 ^A	29 ^B	39 ^C	0.001
Culinary Chef 1	Celery and Bacon	21 ^A	29 ^B	40 ^C	0.0002
Culinary Chef 2	Foie Gras	22 ^A	30 ^B	38 ^C	0.002
Culinary Chef 3	Artichoke	24 ^A	29 ^B	37 ^C	0.009
Culinary Chef 4	Avocado & Salmon	21 ^A	31 ^B	38 ^C	0.001
Culinary Chef 5	Mushroom & Bacon	24 ^A	31 ^{AB}	35 ^B	0.022

3.2 Principles for designing complexity

By exploiting the chefs' interviews, sensory characterization, and perceived complexity evaluation, we were able to determine four principles for designing in-mouth complexity. Each principle is highlighted with the chefs' sentences and participants' comments (Tableau 18).

Tableau 18. Principles used by chefs to design complexity and number of participants citing dimensions of complexity

Design principle	Number of chefs using the principle (n=10)	Notions quoted by participants under each principle (number of quotes) (n=150)
Combine different flavors and tastes	10	Balance between the dominant ingredient and other sensations (42) Number of sensations perceived (36) Global intensity (30)
Contrast textures	9	Different textures (30)
Build a temporal experience	8	Persistence (12) Evolution (12) Spoons with different sensations (10)
Surprise the consumer	7	Surprise in general (15) Surprising temperature contrast (5)

3.2.1 Combine different flavors and tastes

Most chefs increase complexity by adding ingredients. Indeed, low-complexity verrines are composed on average of six ingredients while high-complexity verrines are made with twelve ingredients on average. Adding an ingredient can have different effects on sensory perceptions, but here, chefs stated that adding an ingredient helps to balance sensations and especially to balance taste and flavors. To create complexity, chefs favor balancing intensities of tastes and flavors as a way to manage subtle notes and soften major notes. For example, CC 1 explained that:

“A low-complexity dessert is a dessert with one or two dominant sensations, a medium-complexity dessert is a dessert with no dominant sensations but with different medium intense flavor notes, and a high-complexity dessert is like a medium-complexity dessert but with subtle flavor notes”.

This assertion is in line with sensory results. As shown in Figure 23, for all chefs, increasing in-mouth complexity has an impact on the balance of flavor and taste sensations. For a majority of chefs, we observe a decrease in the number of major notes and an increase in the number of secondary and subtle notes.

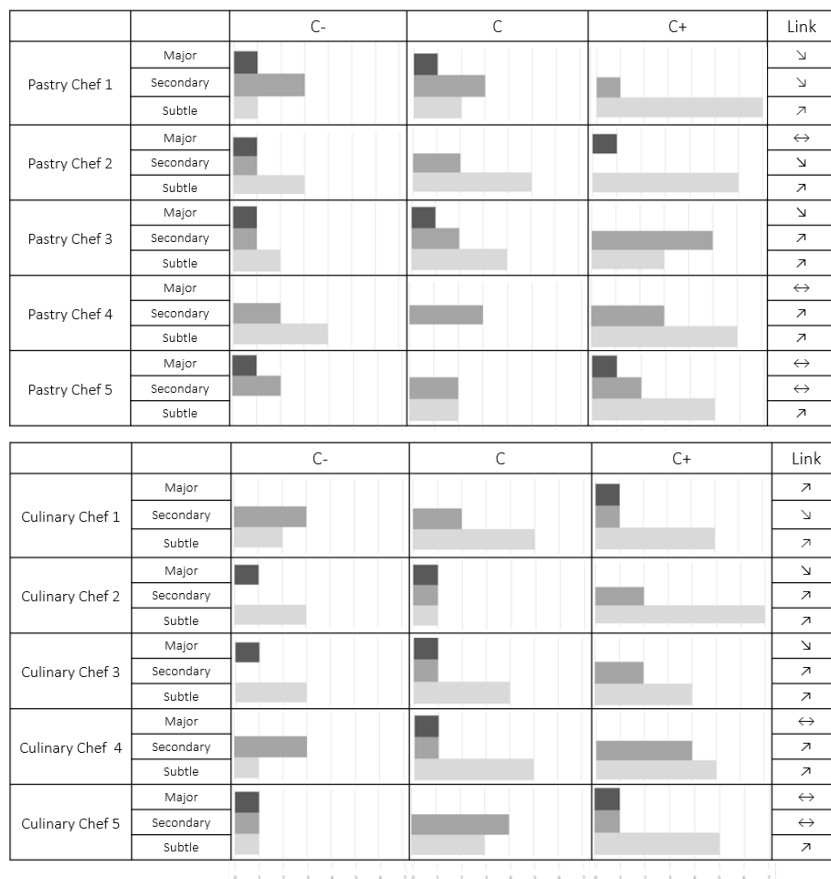


Figure 23. Link between designed complexity and the number of major/secondary/subtle notes perceived in the product (↗increase, ↘decrease, ↔ no link)

Furthermore, according to PC4, CC4 and CC5, balancing tastes and flavors must not compromise the taste of the main ingredient, as it would risk leading to an undefined overall sensory mixture. For example, PC4 explained that when designing a lemon tart, the dominant flavor had to be lemon even though the tart also combined other notes.

Finally, three chefs stated that flavors and basic tastes do not play the same role in the resulting perceived complexity. According to them, flavors bring roundness while basic tastes contribute to add character (CC5), which makes it important to keep a good balance between flavor and basic taste while carefully handling secondary and subtle flavor notes. In the same line of thinking, three other chefs explained that flavors could balance taste. For example, according to CC4:

“flavors help to balance the different tastes, accentuating some of them and softening others”.

The evaluations from naive participant are in line with these comments from chefs. Following their evaluation of perceived complexity, participants cited two main notions to explain their complexity ranking: the decrease in intensity of the major sensation (cited 42 times) and the increase in number of sensations (cited 36 times). Examples of comments gathered under these notions are:

- The decrease in intensity of the major sensation: “Before I just perceived lemon taste and now there is a lot of other tastes and less lemon”, “I feel the dominant chocolate taste decreased because there is a lot of other subtler notes”.
- The increase in number of sensations: “This verrine is the most complex because I perceive more elements”, “There are a lot of flavor notes in the more complex verrine”.

3.2.2 Contrast textures

According to PC1, “there can’t be any complexity without several textures”. Indeed, interviews revealed the contrast of textures as another key aspect. This principle was prominent in discussions with the five pastry chefs but much less so with culinary chefs, despite the fact that the savory verrine triads clearly varied in terms of texture, as noted during the technical tasting. Pastry chefs distinguish two types of textures: (1) ‘soft textures’ like smooth, covering, jelly, sticky or fluffy, and (2) ‘crunch textures’ like crunchy, crispy or firm. ‘Crunch textures’ are often characterized by chunks. Figure 6 is an example of verrines by PC4 illustrating this aspect. According to PC4:

“To add complexity, it is important to have different textures such as crunchy, smooth and creamy. To create different textures, you must use different techniques such as cutting, mixing or whisking”.

Chefs’ comments also indicate that they play with the dominance of textures to increase complexity. Predominantly crispy textures lead to higher perceived complexity than predominantly soft textures. For example, in the lemon tart triad (Figure 24), the complexity is perceived through a dominance of

the crunch and crispy texture of the Italian meringue on top and the crumble bottom layer. All pastry chefs stated that having different types of texture is important to create complexity but also to avoid boring consumers. CC2 declared “If God gave us teeth, it’s not to eat soft things”. Note that for eight chefs, the C- verrine is composed only of ‘soft’ textures conveyed by a cream or a mousse. Only two chefs (CC1 and PC5) combined ‘soft’ and ‘crunch’ textures in their C- verrine.



Figure 24. The verrine trio around lemon designed by PC4. Texture attributes are generated by consensus and ranked according to their ‘intensities’. Attributes in bold are ‘crunch’ textures, others are ‘soft’ textures

The contrast of textures is also quoted by naive participants as a criterion for evaluating complexity (30 quotes):

- “There are a lot of different textures”
- “This verrine is more complex because there are different contrasting textures: a soft cream and crunchier crumble squares”
- “The complexity is due to the different in-mouth textures”
- “I perceived crunch chunks, grilled nuts, a biscuit, a mousse: these sensations give more and more in-mouth complexity”.

However, two culinary chefs nuanced this general principle that complexity requires strong texture contrasts. They explained that within each texture category (e.g. the “soft texture” category) there is enough diversity to play with in order to create a contrast (e.g. of ‘soft’ textures only) without associating soft and crunchy textures. As an example, one of them described a dish made only with tomatoes but using different cooking techniques:

“Take a tomato coulis like a gazpacho with some jelly balls of tomato inside, a tomato sorbet at the middle and some slices of tomatoes on top. This dish will be perceived as complex in mouth with a texture contrast, yet it is made only with ‘soft’ textures”.

3.2.3 Build a temporal experience

In addition to combining flavors and tastes and contrasting textures to design complexity, chefs also stressed the importance of temporal evolution of sensations. They mentioned two different temporality levels: (1) the temporality within a spoonful and (2) the temporality of the full verrine from start to finish.

Regarding within-spoonful temporality, chefs underline three key moments: the “initial”, the “middle”, and the “lasting” sensations. To design initial sensations, three chefs mentioned the same principle, i.e. adding an element on the top of the verrine. One used chocolate sprinkles to create a bitter attack, one used lime zest for a fresh tangy attack, and one used coriander for a fresh herbal attack.

To design middle sensations, two chefs explained that they played with the size of the chunks. PC2 explained that “smaller diced cubes give more dynamic sensations”. Indeed, sensory results reveal that apple taste and texture emerge at different moments during the tasting. Likewise, according to PC1, “texture will give pace to the taste and creates a sensory evolution in the mouth”.

To design lasting sensations, chefs used mostly spices. CC2 for instance purposely used gingerbread spices and PC2 used tonka beans. Furthermore, for verrines by three Culinary Chefs and two Pastry Chefs, sensory analysis revealed that adding these ‘spices’ helped to increase the lasting sensation. CC4 also decided to work on lasting sensation, using smoked salmon in order to provide a more persistent smoky in-mouth flavor. Designing sticky or covering textures can also bring lasting in-mouth sensation. Naive participants raised this point, especially with verrines proposed by PC3 who used chocolate glaze for their C and C+ (Figure 25). The sticky and covering texture of the glaze allows to hold back the bitter chocolate taste until the end of the spoonful. This same result is found with the caramel coulis used on the bottom of C+ that adds a caramel aftertaste thanks to its covering texture.

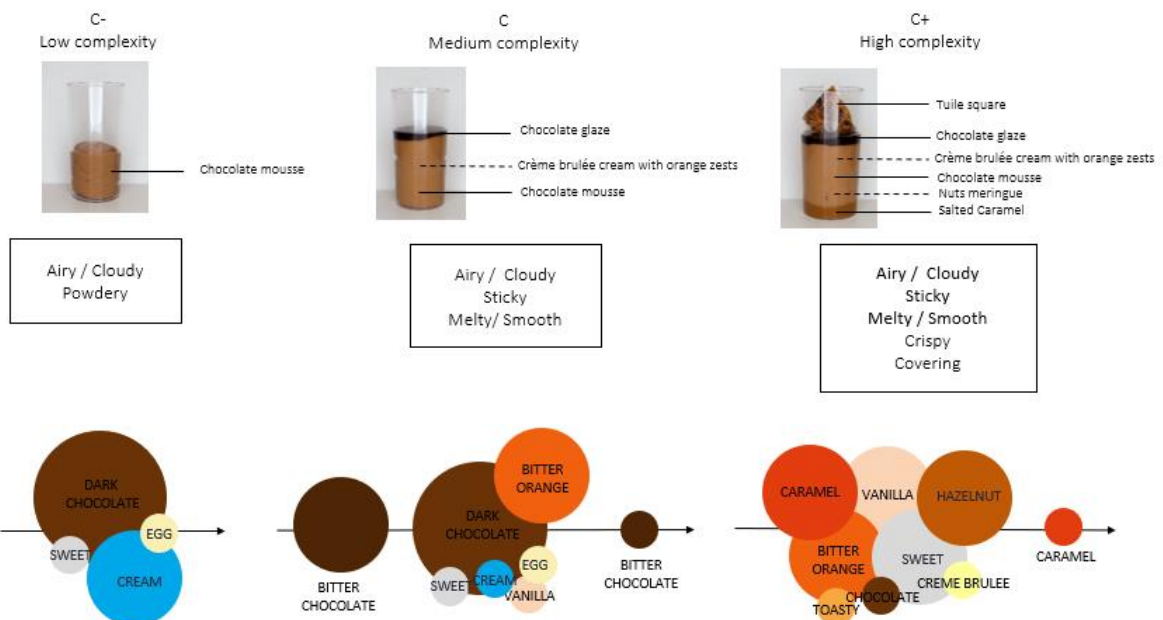


Figure 25. Verrines proposed by Pastry Chef 3 illustrating the importance of texture for designing aftertaste

Lastly, CC2 chose to work with *foie gras* specially to create this sensory evolution in the mouth. He explained that: “foie gras is a product giving progressive sensations. As it melts in mouth, it releases different sensations at different times”.

The second level of temporality is linked to the sensory evolution during start-to-finish verrine consumption. Chefs stated that having different sensations between the first spoon and the last one contributes to increase perceived complexity. To manage this temporality, chefs play on the layering (Figure 26). Hence, the consumers will get different spoonfuls depending on the number of layers: “the consumer has the choice to eat the verrine by breaking down layers or eating them together to have other sensations” (CC4).

This technique was well perceived by consumers both for its positive influence on perceived complexity and for its positive hedonic influence:

- “It’s fun, I can make a lot of different spoonfuls”
- “It’s like having a lot of desserts all in one”.



Figure 26. C+ verrine proposed by Pastry Chef 5, composed of five different layers to create a high perceived complexity

Beyond the tasting experience of the product per se, a complex product delivers an even more holistic experience. PC4 described a very complex experience he had with the Grand Marnier Soufflé invented by Chef Philippe Escoffier: “The first time I ate this soufflé, it was an amazing experience. When you eat a soufflé, time is significant because you need to eat it quickly before it collapses. Then, when you open the soufflé there is an odor evolution: orange first, then alcohol. Then, when you take the first spoon, you first feel heat on the tongue, then caramel emerges, then the creamy texture”.

3.2.4 Surprise the consumer

The surprise is a notion mentioned by seven chefs and was used as a criterion for evaluating perceived complexity by twenty-five participants. Chefs consider surprise as an important pillar in complexity design, but also as a way to excite the taste buds and avoid boredom. According to the chefs, there are three ways to generate surprise: 1) add an unknown sensation that the consumers will perceive but not identify; 2) add an invisible sensation, or 3) associate unusual ingredients together. In the first case, chefs used non-usual or new ingredients. Here, most of them used cross-cultural associations, adding for example sweet soy sauce, yuzu or ginger to a basic recipe, which they felt was a way to lead the consumer to discover new tastes. They also used ingredients with little-known taste, such as truffle. For PC2, his more complex dessert was a surprising geranium sorbet: “We tried it for the first time when I saw the plant, but I couldn’t imagine the taste”.

Surprise can also be created also with texture. According to CC4, caviar texture enables a complex and surprising experience giving first an audible “pop” between the tongue and palate when we burst it, followed by the release of a flavorful juice. Jelly textures can also surprise the consumer, as observed with the C+ verrine proposed by PC4 who used a mojito jelly on the bottom of his verrine: “It is very surprising, these jelly pieces at the bottom”.

Adding an invisible sensation allows both a visual surprise and a taste surprise. To design this surprise, chefs realized inserts that they put inside their verrine. Figure 27 is an example proposed by Pastry Chef 3 who used two inserts: one composed of a *crème brûlée* and the other of a meringue chunk. According to participants, complexity is brought by the “composition of the verrine [because] we discover different elements as we eat”.

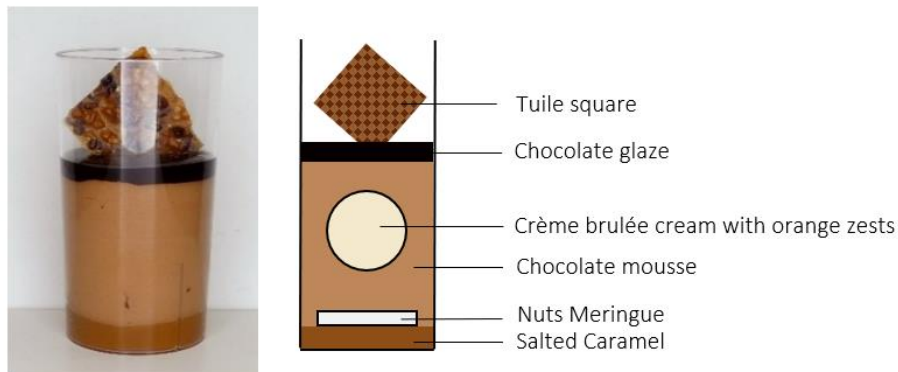


Figure 27. C+ verrine proposed by Pastry Chef 3 around chocolate, illustrating the insert technique to surprise the consumer

Temperature contrast was also underlined by then participants to describe perceived complexity: “This product is the more complex, because the fresh heart of the verrine is a surprise”.

Four chefs used this technique to design complexity. For example, CC5 added apple dices in his C+ verrine to bring freshness and create contrast of temperature (Figure 26).

Another way to surprise the consumer is to add an invisible sensation by giving an unexpected taste to a more usual component. For example, PC2 brewed tonka beans into his chocolate ganache, which clearly surprised four participants: “I did not expect to taste a chocolate cream with a spicy taste”.

CC5 also investigated this technique using pickled chanterelles for her C and C+ verrines. This conveys very surprising vinegar and acid sensations at first, because the chanterelle looks like a regular one: “It looks like a mushroom, but it has a very surprising pickle-like taste”.

Finally, creating an unusual association can also surprise the consumer. CC2 explained that his most complex experience was with an unexpected and surprising ingredient association. He gave the example of two dishes: veal sweetbreads with coffee and grapes, and *foie gras* with potatoes and a chocolate sauce.

3.2.5 Limits

PC3 emphasized the limit of adding too many ingredients or too many sensations. He designed his C+ verrine purposely as an example of an ‘over- complex’ product (Figure 27), and in the technical tasting sessions, the number of sensations perceived in this verrine was effectively so high that it became very difficult to distinguish which element brought which taste or texture. Likewise, it is impossible to tell which sensations are perceived first or at the end. Naive participants had the same perception: “There are a lot of elements, and we are lost in perceived tastes”, “It is very difficult to identify tastes”.

This is consistent with the fact that humans are limited in the number of odorants they can discriminate and the ability to identify a particular odorant within a mixture (Laing & Livermore, 1992; Livermore & Laing, 1998).

4. Discussion

Complexity is a word rarely used in gastronomy, but this work confirms that chefs consciously manage complexity know how to design perceived complexity. Their first impressions around the notion of complexity are in line with the literature on the subject, where complexity emerges as a non-consensual notion in terms of definition (Palczak, Blumenthal, Rogeaux, & Delarue, 2019) but also in terms of perception (W. V. Parr et al., 2011; Charles Spence & Wang, 2018b). Studies on food complexity highlight that it can be considered as a meta-sensation impacted by different sensory parameters (Meillon et al., 2010). It is therefore logical that chefs do not share the same perception of the notion of complexity and thus design this complexity in different ways.

The chefs also stated that the term complexity can have negative connotations and prove difficult for consumers or clients to understand. They explained that terms like *roundness*, *richness*, *balance* or *elaborate better* convey positive feelings and are better understood by consumers or clients. Articles studying complexity with consumers more readily talk about complexity (Marcano et al., 2015; Pierguidi, Spinelli, Dinnella, Prescott, & Monteleone, 2019). These articles relate that consumers can generate verbatims around the notion of complexity. For Marcano et al. (2015), the most cited determinants in a cheese pie were lack of homogeneity and contrast of texture. For Pierguidi et al. (2019), consumers linked perceived complexity to the number of ingredients and the skill needed to prepare a cocktail.

Regarding the characterization of verrine triads, we found that number of ingredients, number of techniques used, and the time to make the triads were linked to the designed complexity. Whisking and mixing are the techniques most used in the design of low-complexity products. Drying, candying, poaching, smoking, brewing and jellifying are techniques used to design high-complexity products, but they require more preparation time. The design complexity intended by the chefs was clearly perceived, as seen in the naive participants rankings. Note that participants more easily perceived the complexity rankings for desserts than for savoury verrines. This can be attributed to the number

of design principles used to realize desserts compared savoury verrines. Pastry chefs used at least three out of four principles to design their triads, while culinary chefs used between two and three principles.

In terms of design principles, chefs seem more consensual on “Combine different flavors and tastes”. Behind this principle, chefs consider complexity as the number of sensations perceived and the balance between major, secondary and subtle sensations. Number of sensations perceived is widely used in the literature as a determinant of perceived complexity (Bitnes et al., 2009; Lévy et al., 2006; Meillon et al., 2010; Paulsen et al., 2015; Porcherot & Issanchou, 1998; Reverdy et al., 2010; Ruijschop et al., 2009; Weijzen et al., 2008). Meillon et al. (2010) demonstrated that a complex wine is characterized by a succession of moderate (i.e. secondary) sensations whereas a less complex wine is characterized by a succession of dominant (i.e. major) sensations. Meillon also suggested that the number of sensations perceived with a dominance rate between chance and significance (i.e. subtle sensations) is higher for complex wine than for others.

The second principle highlighted here is texture contrast. Chefs stated that sensory complexity design hinges on using both crunch textures and soft textures. The literature also reports increased complexity using texture contrast. Studies generally combine different components—both crunch and soft (Larsen et al., 2016; Marcano et al., 2015; Tang et al., 2017, 2016)—as this heterogeneity provides sensory variety and increases the texture contrast. This variation of mechanical properties within a food is associated with texture contrast perception and can boost sensory responses during mastication due to the experience of complex sensory stimulation (Szczesniak & Kahn, 1984).

The third principle underlined by our results is the importance of having a temporal experience. This principle has been relatively understudied in the literature. One team suggested that complexity can be related to the dynamic progression of sensations perceived between the first bite to the last (Larsen et al., 2016; Tang et al., 2017, 2016). The literature on techniques to realize this principle is consistent with our results. Combining layers is considered as a technique to design temporality (Devezeaux de Lavergne et al., 2016). Authors have specified that layers will have an impact on mechanical properties and help to manage dynamic texture perceptions. According to Hutchings et al. (2011), temporality can be design using chunks of peanuts which will deliver temporal texture sensations.

The fourth and last principle outlined in this article is the effect of surprise on the perception of complexity. This principle is probably the most clearly demonstrated in the literature to date. According to Berlyne (1967), surprise is one of the collative properties that can influence preferences and is linked with the perception of complexity. Reverdy et al. (2010) even used the level of surprisingness as a measurement of perceived complexity for children. Here we suggested three ways to generate the surprise: add an unknown sensation that the consumers will perceive but not identify, add an invisible sensation, or pair unusual ingredients together. There has been little investigation into ways to design surprise. Mielby & Frøst (2010) explored the relation between different meals and the surprise, and found that surprise can be induced by unusual associations, temperature contrasts, and unknown sensations. Nevertheless, there are reports on adding an

unknown sensation to surprise the consumer and design perceived complexity. various teams have used different types of spices like nutmeg or cinnamon (Olabi et al., 2015; Reverdy et al., 2010; Soerensen et al., 2015) or unusual ingredient associations like cardamom oil in an orange soft drink (Lévy et al., 2006), ginger in an apple compote (Reverdy et al., 2010) or liquorice in chocolate bars (Soerensen et al., 2015).

In the discussions, seven chefs mentioned the evolution of their culinary techniques and/or culinary practices as bringing greater complexity in their dishes or desserts. For example, new ingredients such as algae powder and new food additives create more complex textures (gelling agents, emulsifiers, and thickeners). Low-temperature cooking provides more complex texture (softer, juicier). Sophisticated devices to dry, steam or smoke provide more complex tastes. Beyond only in-mouth complexity, discussions revealed that different cooking techniques can add visual complexity, especially as professional kitchens adopt new technologies. 3D food printing was also cited by four culinary chefs for its capacity to realize more visual complexity with new food forms or challenging dressings. 3D food printing can be also used to create new cake molds and produce complex 'sculptural' cake. Chefs are also embracing new techniques like cold-smoking and flash freezing, which can preserve the original color of the food and boost aromatic sensations (Pérez-Lloréns, 2019).

Complexity and its influence on appreciation was also addressed during interviews. Nevertheless, chefs state that their main objective when they create a food product is not always appreciation, especially when they add complexity. For example, during pastry or food competitions, the objective is to demonstrate culinary techniques and expertise in a specific domain. When they offer a new dessert or a new dish to a client, their primary goal is to create surprise and culinary experiences.

5. Conclusion

This study helped to determine four principles for designing in-mouth perceived complexity, i.e. combine different flavors and tastes, contrast texture, build a temporal experience, and surprise the consumer. Working in collaboration with culinary and pastry chefs to perform this study provided valuable input and enabled a complete and accurate overview of design principles. The technical tasting allowed a constructive sensory characterization of all verrine triads devised to illustrate all the principles underlined here. Evaluation by naive participants confirmed the expected complexity levels intended by chefs. More broadly, this study opens perspectives on ways to drive food innovation through the mastery of sensory complexity.

Acknowledgments

The authors wish to thank Estelle Petit, Céline Patois and Laura Zerbini for their contribution to the project and their technical help. The authors also thank the chefs for their cooperative interviews.

A setenis

L'objectif de ce chapitre était de déterminer et comprendre les principes permettant de mettre en œuvre de la complexité sensorielle (gustative, aromatique et de texture) dans un produit alimentaire.

Nous avons observé que le nombre d'ingrédients, le nombre de techniques utilisées ainsi que le temps pour faire le produit sont des paramètres utilisés par nos experts pour désigner de la complexité. Mixer et foisonner sont les techniques les plus utilisées pour mettre en œuvre les verrines de faible complexité alors que sécher, gélifier, pocher, fumer, infuser sont principalement utilisées pour les verrines de forte complexité.

Cette étude nous a permis de mettre en avant quatre grands principes permettant de mettre en œuvre de la complexité sensorielle : combiner plusieurs goûts et aromatisations, contraster les textures, avoir une expérience temporelle et surprendre le consommateur. Chacun de ces principes est accompagné de recommandations techniques et est illustré par des résultats sensoriels et des perceptions consommateurs. Il est également important de noter que les résultats des sujets naïfs nous ont permis de valider que la complexité mise en œuvre par les chefs était également perçue.

Enfin, la complexité ne ressort que très peu dans le discours naturel des experts sur leur cuisine, sur leurs inspirations ou dans la description de leurs expériences culinaires favorites. Cependant, ils ont montré une grande facilité à la mettre en œuvre. Travailler en collaboration avec des chefs a permis d'avoir un aperçu précis et exhaustif des principes de mise en œuvre de la complexité. Il est également important de souligner la facilité et la justesse que les chefs ont pour caractériser sensoriellement leurs réalisations et justifier leurs choix techniques.

CHAPITRE 3

Du comportement de consommation à la mesure sensorielle, caractérisation sensorielle de la complexité aromatique perçue lors de la consommation d'un dessert au chocolat

Article 3

La catégorie des produits laitiers frais est constituée d'un nombre croissant de produits bicouches. Ces produits peuvent être considérés comme plus complexes que les autres desserts laitiers à cause de leur hétérogénéité et de la multitude de sensations qu'ils suscitent. Dans cette étude, nous souhaitons caractériser sensoriellement des desserts au chocolat bicouches et identifier les déterminants sensoriels de leur complexité perçue. Pour ce faire, nous avons adapté la méthode du Profil Séquentiel pour mesurer les attributs sensoriels perçus au cours de la consommation d'un dessert entier. Cette adaptation s'appuie sur des comportements de consommation observés sur des consommateurs lors d'une première expérimentation. Nous avons observé que la plupart des consommateurs mange des desserts bicouches au chocolat en réalisant des cuillérées composées des deux couches, en différentes proportions. A partir de ces observations, nous avons défini un chemin de cuillères standardisé représentatif de ce comportement. Dans une seconde expérimentation, sept desserts bicouches au chocolat commercialisés ont été évalués par un panel entraîné à suivre le chemin de cuillères, et à utiliser l'adaptation du Profil Séquentiel. Cette évaluation met en avant l'évolution des perceptions sensorielles de la première cuillérée à la dernière. Les données de complexité perçue ont permis d'identifier trois groupes de panélistes. Ces trois groupes correspondent également à trois différentes manières de définir la complexité perçue dans un dessert bicouche au chocolat. Nous avons également observé que la complexité perçue pouvait être associée à la richesse des sensations perçues, et plus spécifiquement au nombre maximum d'attributs saillants et à la fluctuation des attributs dominants au cours de la séquence de cuillérées.

Sommaire

1. Introduction	102
2. Materials and Methods.....	104
2.1 Experiment 1: Observational study	104
2.1.1 Products	104
2.1.2 Participants	105
2.1.3 Contexts	105
2.1.4 Coding and data analysis	106
2.2 Experiment 2: Sensory characterization	106
2.2.1 Products	106
2.2.2 Participants	107
2.2.3 Training	107
2.2.4 Evaluation	108
2.2.5 Data analysis	109
3. Results.....	110
3.1 Experiment 1: Observational study	110
3.2 Experiment 2: Sensory characterization and perceived complexity	111
3.2.1 Sensory characterization	112
3.2.2 Perceived complexity	114
3.2.3 Relationship between perceived complexity and sensory characterization	115
4. Discussion and conclusion.....	117

From consumption behavior to sensory measurement: sensory characterization of the perceived flavor complexity of a chocolate dessert experience

Julie Palczak ^{a,b}, David Blumenthal ^a, Julien Delarue ^a

^a UMR GENIAL Ingénierie Procédés Aliments, AgroParisTech, INRA, Université Paris-Saclay, 91300 Massy, France

^b Sensory and Behavior Science Department, Danone Nutricia Research, France

The fresh dairy dessert category comprises a growing number of bi-layered products. These products can be considered as more complex than other dairy desserts because of their heterogeneity and the multiplicity of sensations they evoke. In this study, we set out to sensory characterize some bi-layered chocolate desserts and find the sensory determinants of their perceived complexity. To do this, we adapted the sequential profiling method to assess sensory attributes covering the full consumption of the dessert. This adaptation was based on the observation of consumers' eating styles during a first experiment. We observed that most consumers ate bi-layered chocolate desserts in spoonfuls composed of both layers, with different proportions of top and bottom layer. From these observations, we specified a standardized eating pattern representative of this behaviour. In a second experiment, seven commercial bi-layered chocolate desserts were evaluated by a panel trained to follow this eating pattern, and using the adapted sequential profiling. This evaluation showed the evolution of the sensory perception of bi-layered products from the first to the last spoonful. Perceived complexity data identified three groups of panellists based on their complexity scores. These groups matched three different ways to define 'perceived complexity' in a chocolate bi-layer dessert. We also observed that perceived complexity could be related to the richness of the sensations perceived, and specifically to the maximum number of salient attributes and the fluctuation of dominant attributes during the sequence of spoonfuls.

1. Introduction

Perceived complexity is believed to be a relevant dimension in the development of food product preferences (Lévy et al., 2006). The perceived complexity of food products is often considered as a sensory property in itself (Palczak et al., 2019). In the literature, sensory complexity is associated with the number of perceived sensations (Bitnes et al., 2009; Lévy et al., 2006; Meillon et al., 2010; Pierguidi et al., 2019; Porcherot & Issanchou, 1998; Reverdy et al., 2010; Ruijschop et al., 2009; Weijzen et al., 2008) and to the dynamic changes of sensations within a bite (Larsen et al., 2016; Tang et al., 2017, 2016). These studies looked at complexity for only one bite or one sip of a product. However, perceived complexity should be characterized over the full eating or drinking experience (Kramer, 2012; Qian Janice Wang & Spence, 2018). Also, complexity is a collative property, depending both on the product's sensory properties and on the perceiver's experience and familiarity with the product (Lévy et al., 2006). Thus to fully understand perceived complexity, it is necessary not only to study the sensory characteristics of the product, but also to take into account each subject's perception at the individual level or at the very least in clustered subjects (Berlyne, 1971; Lévy et al., 2006; Palczak et al., 2019).

In the past few years we have seen a growing number of fresh dairy desserts with multiple layers, textures or flavours, now representing 20% of the French fresh dairy market (Euromonitor International,

2018). Of these, a wide choice of bi-layered chocolate desserts is now available on the shelves of French retailers (6% of French dairy dessert innovations in the last 2 years (Database Innova, 2019)). In such products, each layer offers a different sensory profile, so offering more diversified and potentially more complex overall sensory experiences. These bi-layered chocolate desserts are mostly composed of layers with different tastes. The chocolate layer alone, in the range dark to milk, can bring a diversity of flavour sensations. The additional layer can contrast with other flavour sensations: caramel notes, vanilla notes, cream notes, etc. Finally, these desserts have layers with different textures (cream, coulis or mousse). We can expect flavour sensations offered by a chocolate mousse to be different from those offered by a chocolate cream. Thus we hypothesize that these chocolate desserts, by bringing different flavour experiences, offer different levels of perceived complexity.

Providing a description of these complex overall sensory experiences is challenging. We would expect consumers to eat spoonfuls containing single separate layers, but also some spoonfuls made up of several layers or of stirred layers. To capture the sensory perception of such products, we need to know what type of spoonful to evaluate. In addition, the sequence of spoonfuls – from first to last – is likely to affect the overall sensory experience. For example, a spoonful from the chocolate layer followed by a spoonful of whipped cream may be perceived differently from whipped cream followed by chocolate, even if the layers are the same. To approach the whole sensory experience, it is thus important to characterize not only each layer separately, but also the perception resulting from the sequence of layers. Martin, Visalli, Lange, Schlich, & Issanchou (2014) proposed evaluating these types of products with a representative portion (spoonful) composed of the different layers. However, such a representative portion may be consumer-dependent. Consumption behaviours with heterogeneous products may differ from one person to another (Brown & Braxton, 2000). It thus made sense to first study consumer eating behaviour and to determine the different eating styles, and then develop a protocol adapted to the evaluation of such products. Finally, we know that eating behaviour may be influenced by the context of consumption (at home vs. restaurant vs. sensory booth) (Galiñanes Plaza et al., 2018), suggesting that studies of consumer eating behaviour should allow for context.

The main aim of this work was to elucidate the sensory determinants of perceived complexity. To this end, we developed a methodology to sensory characterize heterogeneous products such as bi-layered chocolate desserts. Following Martin et al.'s (2014) proposal, and assuming that consumers differ in their eating styles, we first set out to identify what spoonful types consumers would naturally take when eating bi-layered desserts. We were also interested in the sequence of spoonfuls they followed to eat a whole cup. For this purpose, we first observed consumers' eating style when offered bi-layered desserts. To limit the influence of a potential chosen context, two different contexts were used to identify the eating styles. Depending on the observed patterns and their diversity, we then defined representative spoonfuls and sequences of spoonfuls for sensory evaluation. As stated above, the temporal sequence of spoonfuls may affect the sensory experience and the resulting perceived complexity. We thus decided to apply sequential profiling, which offers the possibility of assessing attributes over successive bites or sips and to analyse data at the individual level (unlike other methods such as T-CATA or TDS (Cadena et al., 2014)). Sequential profiling was developed to determine the perception of sensory attributes on repeated consumption of oral nutrition supplement samples over time (Methven et al., 2010). These products' specific remanence and sensory build-up need to be considered. This method gives good results with liquids (Withers, Barnagaud, Mehring, Ferris, & Thomson, 2016), and so should also work for semi-solid foods.

This paper is divided into two parts: an observational study followed by sensory characterization. The observational study was performed in two different contexts (meal context vs. sensory booth) with untrained volunteers. By contrast, the sensory characterization was done with trained subjects. Both experiments were carried out using commercial bi-layered chocolate desserts varying in complexity *a priori*. Products were chosen to express flavour differences during the full eating experience.

2. Materials and Methods

To address our aim, two successive studies were set up: an observational study and a sensory characterization study (Figure 28).

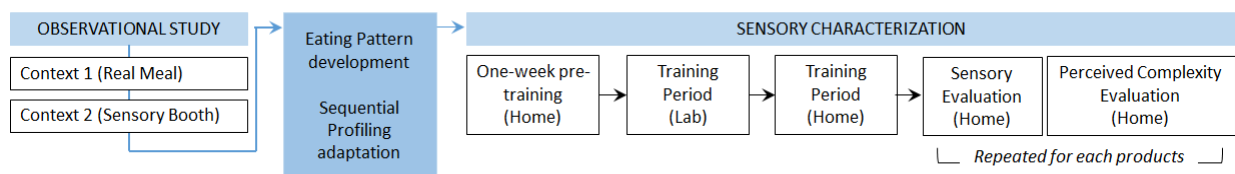


Figure 28. Study process

2.1 Experiment 1: Observational study

2.1.1 Products

Five chocolate bi-layered desserts sold in France were tested (Set 1 in Figure 29). These products were of the same brand but representative of the range of subcategories available on the market. One product from each available subcategory was chosen: *vanilla mousse on chocolate mousse*, *vanilla mousse on chocolate cream*, *chocolate cream on caramel cream*, *chocolate cream on caramel coulis*, and *chocolate cream on fruit coulis*. All these products are composed of a chocolate cream plus a top or bottom layer that can be a vanilla mousse (whipped cream analogue), a cream (with a different flavour but the same texture as the chocolate cream) or a coulis (topping sauce, more fluid than a cream). Products were stored at 4 °C and placed at room temperature one hour prior to the tasting session.

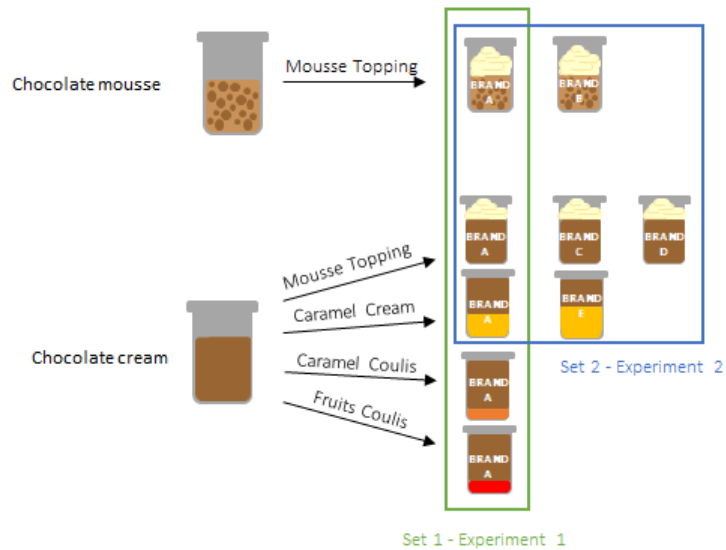


Figure 29. Products used in the two experiments

2.1.2 Participants

Thirty-two untrained volunteers (25 women, 7 men, aged 23–26 years) participated in the study. All the participants were students at the AgroParisTech Center (Massy, France). They were regular consumers of dairy products and had no aversion for chocolate dairy desserts. The participants were randomly assigned to one of the two contexts tested.

2.1.3 Contexts

Dessert eating behaviours were observed in two different contexts. The first (Context 1) consisted in a meal eaten in a test kitchen equipped with a dinner table and four dome cameras. The 16 participants assigned to this context were randomly divided into four groups of four persons. Participants were invited for a meal, pretexting a focus group about pizzas during lunchtime. At the end of the focus group session, we offered them chocolate desserts as a reward. Participants were free to choose any chocolate dessert from the product set placed on the table.

The second test took place in sensory booths (Context 2). A different group of 16 participants were asked to eat the chocolate dessert of their choice among the assortment and to rate their liking. They were specifically asked to eat all the product. Each sensory booth was equipped with one visible Gopro® camera.

In both contexts, participants had mineral water at their disposal with no specific instructions about rinsing their palate. They were also informed that they were being filmed during the session.

2.1.4 Coding and data analysis

All the videos obtained were coded for the number of spoonfuls taken to eat all the dessert, the sequence of spoonfuls (time per spoonful and type of spoonful – ratio of bi-layered components) and activity during consumption (sip of water and discussion).

Data were analysed with chi-square and exact Fisher tests using XLSTAT 2017 software (Addinsoft, Paris, France).

2.2 Experiment 2: Sensory characterization

To come as close as possible to a natural consumption experience, the sensory evaluation was conducted at home. As the evaluation sessions were to be done during the evening after dinner, and as the evaluation protocol implied consuming a whole cup of product, tasting one product at home each day appeared to be the best solution.

At the beginning of each week of evaluation, panellists came to the lab to get their set of products to evaluate them during the week at home.

2.2.1 Products

Seven different French commercial bi-layered chocolate desserts were evaluated: two *vanilla mousse on chocolate mousse desserts* (Desserts MM1 and MM2), three *vanilla mousse on chocolate cream desserts* (Desserts MC1, MC2 and MC3), and two *chocolate cream on caramel cream desserts* (Dessert CC1 and CC2) (Tableau 19). Products were either those used in Experiment 1 or variants of them (Figure 29). Variants were chosen to express flavour differences inside each category. Chocolate cream on caramel or fruit coulis were not included in Experimentation 2 because coulis offered a marked texture difference from the cream (very liquid coulis or presence of fruit pieces). Products were systematically presented blind. The general shelf life of these products is 30 days, allowing sensory stability during the two weeks of home evaluation.

Tableau 19. Detail of the 8 desserts used in Experiment 2

	Top layer (proportion)	Bottom layer (proportion)	Cup size (g)
Dessert MC1	Vanilla Mousse** (1/3)	Chocolate Cream* (2/3)	100
Dessert MC2	Vanilla Mousse (1/3)	Chocolate Cream (2/3)	100
Dessert MC3	Vanilla Mousse (1/3)	Chocolate Cream (2/3)	130
Dessert MM1	Vanilla Mousse** (1/2)	Chocolate Mousse (1/2)	80
Dessert MM2	Vanilla Mousse (1/2)	Chocolate Mousse (1/2)	80
Dessert CC1	Chocolate Cream (1/2)	Caramel Cream (1/2)	85
Dessert CC2	Chocolate Cream* (2/3)	Caramel Cream (1/3)	125

*desserts with the same chocolate cream, **desserts with the same vanilla mousse
Vanilla mousse = whipped cream analogue

2.2.2 Participants

A group of 14 subjects aged 24–58 years (3 men and 11 women, mean age 33.2 years) were selected for their motivation, their liking for chocolate dairy desserts and their availability to pursue a two-month study. They already had experience in sensory descriptive analysis for other product categories. They had to have an internet connection at home. They received compensation for their participation.

2.2.3 Training

Prior to evaluation, a one-week pre-training period at home was organized to familiarize panellists with the product set and to generate sensory attributes. Each panellist thus received a coolbox containing the product set and a notebook. They were asked to eat each chocolate dessert, and to give their feedback using a paper form that included questions about taste and aroma. They were also specifically asked to pay attention to the evolution of sensations when eating each product. At the end of that week, a three-hour group session was organized for discussion and definition of a consensual list of sensory attributes (Tableau 20). The procedure of evaluation was also discussed with the panellists during that session.

The training period then consisted of 16 sessions lasting 30 minutes, conducted in sensory booths. In the first stage of training (six sessions), the spoonfuls made up of various dessert layer combinations were prepared before the session to help panellists evaluate attributes on these different types of spoonful. Different food products were used to calibrate the panel on sensory descriptors such as condensed milk, dark chocolate bars, caramel topping, etc. Then, during two sessions, they were trained to use a set eating pattern (as detailed in Section 2.2.4). The last eight sessions were used to train panellists in the evaluation of the five sensory attributes for the full pattern. Attributes were always evaluated on a 10 cm unstructured linear scale using digital tablets (Samsung Galaxy Tab 10.1"). In addition, four training sessions at home were also organized to validate panel performance at home.

Tableau 20. List of sensory attributes and their definitions

Attribute	Definition, protocol	Scale anchors	Anchors
Sweet	Basic taste, perceived on the tongue, stimulated by sugars	Not / Very	
Milk flavor	Retronasal aroma perception to condensed milk (evaluated after swallowing)	Not/Very intense	Condensed milk
Chocolate flavor	Retronasal aroma perception to baking chocolate (evaluated after swallowing)	Not/Very intense	Dark cooking chocolate
Vanilla flavor	Retronasal aroma perception to vanilla extract (evaluated after swallowing)	Not/Very intense	
Caramel flavor	Retronasal aroma perception to liquid caramel (evaluated after swallowing)	Not/Very intense	

2.2.4 Evaluation

Using results from Experiment 1, we defined a representative, feasible and repeatable eating pattern (Figure 30). A sequence of 12 successive spoonfuls representative of the most frequently observed eating styles was first proposed to the panellists. We defined five types of spoonfuls to be sequentially evaluated. Each eating pattern had to start with one single top-layer spoonful and finish with two single bottom-layer spoonfuls. Intermediate spoonfuls had increasing ratios of layers: 2/3 top - 1/3 bottom, 1/2 top - 1/2 bottom, 1/3 top - 2/3 bottom. However, panellists commented that the amount of product in each spoonful was too small for a descriptive analysis. The sequence was therefore reduced to ten spoonfuls. Each spoonful comprised approximately 8 g of product. One eating pattern was developed for mousse-cream and mousse-mousse desserts and one for cream-cream desserts.

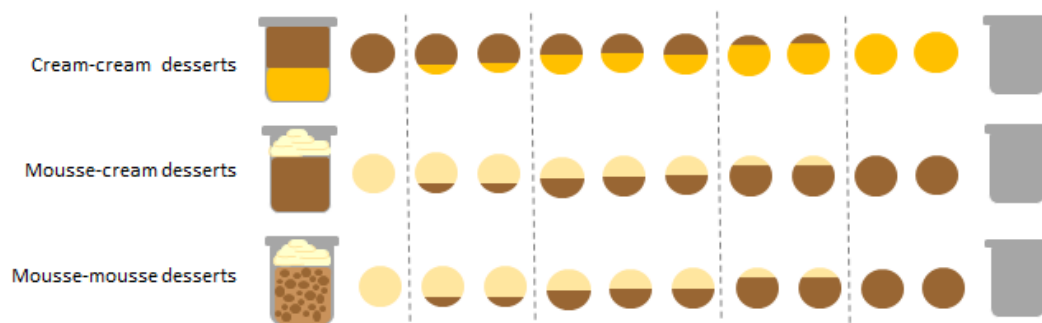


Figure 30. Eating patterns developed to evaluate bi-layered products

To determine the temporal evolution of sensory attributes in this eating pattern, we conducted a descriptive analysis inspired by sequential profiling. Sequential profiling was developed by Methven et al. (2010) to profile the temporal evolution of sensations over eight repeat sips of oral nutrition supplements. For each sip, panellists had to evaluate five sensory attributes at three times after swallowing: $t = 0$, $t = 30$ s and $t = 60$ s. In this study the sequential profiling was adapted considering each spoonful as one 'sampling occasion' just after swallowing ($t = 0$). For each spoonful, panellists also rated five flavour attributes, in the same order (Tableau 20).

The chocolate desserts were tested monadically, in duplicate, following a balanced presentation order. One product was evaluated per day, at the end of dinner. Panellists were instructed to eat an unsalted cracker and to take a sip of mineral water (Evian) just before eating the test sample. Both were provided at the beginning of each evaluation session.

After they completed the sensory evaluation of a product, they were also asked to rate the level of complexity they perceived for it. This evaluation was performed on a 10 cm unstructured linear scale ranging from 'not complex' to 'very complex'. We did not provide any definition of complexity, so that each panellist could rate it unprompted. To obtain insights into their understanding of complexity, we asked them to give their own definition of complexity during the training phase. Their individual definition was then displayed on the tablet during the evaluation at home.

All data were directly recorded on digital tablets using online EyeQuestion Software (version 4.6.6. Logic8 EyeQuestion software). To prevent any mistake during the evaluation at home, panellists had to enter a confirmation code printed on each product lid. We also recorded the time and the duration of each evaluation. Panellists complied with our instructions and completed their evaluations between 7 and 10 pm. On average, they took 7.2 minutes to evaluate each product.

2.2.5 Data analysis

The statistical analysis of data was performed using XLSTAT 2017 software (Addinsoft, Paris, France) and RStudio® (Version 1.0.136).

Data from the sequential profiling were organized in a table with [product (7) x spoonful (10) x panellist (14)] rows and 5 columns (one for each attribute). The evaluation was duplicated, resulting in a total of 1960 observations.

These data were analysed using ANOVA. The panel performance was analysed using an ANOVA model with three factors (product, panellist, repetition) and their interactions. The product effect considers each product x spoonful pair and indicates whether the panel was discriminant ($p < 0.05$). Interactions were also used to determine whether panellists used the intensity scale between repetitions in a similar way (panellist x repetition), whether there was agreement among panellists (product x panellist) and whether panellists generated similar values between repetitions (product x repetition). Panellist performance was evaluated for panellist discrimination, agreement and repeatability.

Fisher's Least Significant Difference (LSD) test was performed to know which spoonful × product combinations significantly differed from one another. To assess the sensory distances between the spoonfuls within and between each product, we ran a normalized principal component analysis (PCA) on the average table of the 70 observations (70 ProductSpoons) and five attributes.

Finally, perceived complexity was analysed at the panel level using a two-way ANOVA (with panellist and product as factor). *Post hoc* LSD tests were performed to determine which products significantly differed from another. Perceived complexity was also analysed after clustering. A hierarchical cluster analysis (HCA) was performed on panellists' scores of perceived complexities to identify groups of panellists evaluating complexity in a similar way. ANOVA followed by an LSD test was done to determine which products significantly differed in perceived complexity in each group.

All *post hoc* LSD tests were performed with a significance threshold set at 5%.

3. Results

3.1 Experiment 1: Observational study

All the proposed products were chosen at least once in each context. The *vanilla mousse on chocolate cream dessert* was the most frequently chosen. Regardless of the context, when eating their dessert, the clear majority of participants took different types of spoonfuls composed of bottom and top layers in different proportions (Figure 31). However, in the sensory booth, we observed two specific eating styles: one participant carefully ate the product layer by layer (Subject 26) and another participant first ate one spoonful of mousse and then stirred the product before eating it all (Subject 17). Although there is no proof, these behaviours might result from demand characteristics bias induced by the sensory booth context.

To further analyse the eating pattern, we evaluated three quantitative parameters (time for the consumption of the total cup, mean time per spoonful and number of spoonfuls) and one qualitative parameter (activity during consumption) for each context and each participant (Figure 4). The mean number of spoonfuls (13) and the mean time to eat all the dessert (1 minute and 55 seconds) were similar in both contexts. The mean time spent for each spoonful was significantly higher in sensory booths (8.5 seconds) than in the meal context (5.75 seconds). Contrary to the sensory booth context, the activity during the meal was not limited to eating the product, but also involved discussion. This was true for all the participants. Conversely, more participants drank water in sensory booths (seven participants out of 16) than during the meal (only one participant out of 16).

Evaluating the type of spoonfuls made by participants, we identified five types: spoonfuls with only vanilla mousse, chocolate cream or caramel cream, spoonfuls with both layers and spoonfuls with the dessert mixed.

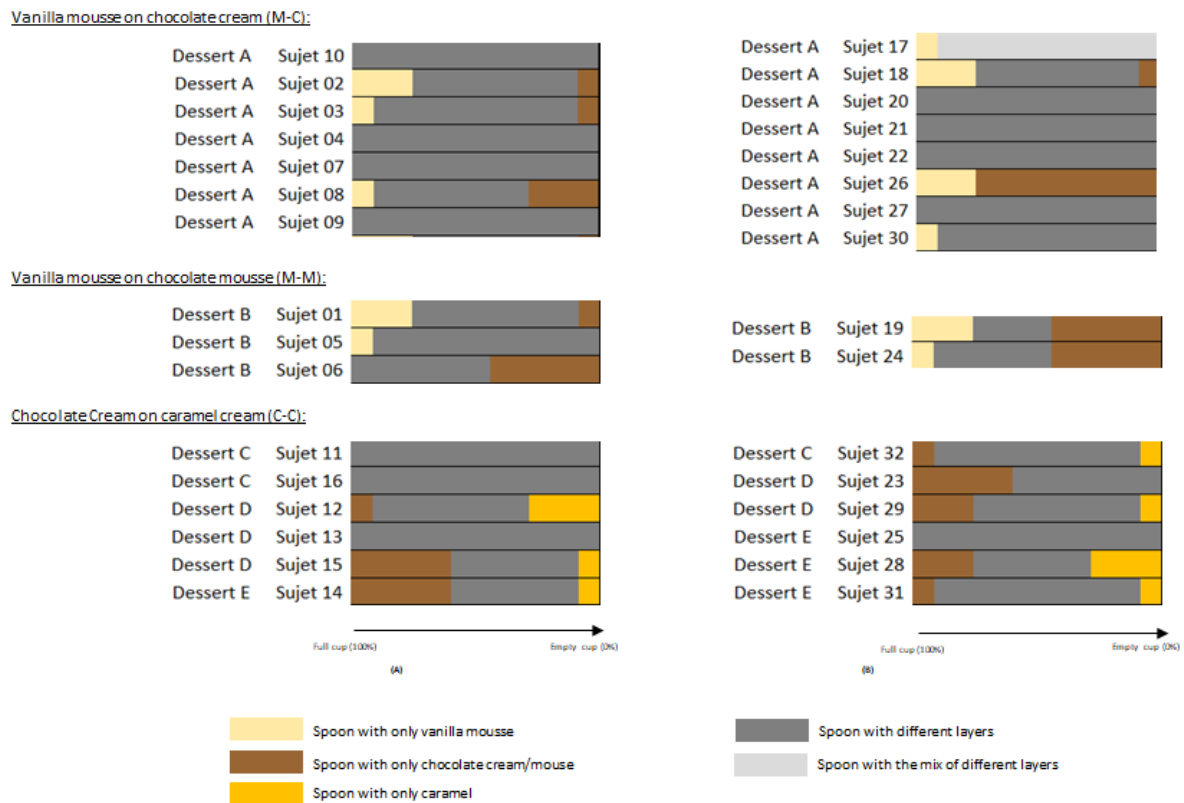


Figure 31. Eating patterns observed in a meal context (A) and in sensory booths (B) for the 32 participants

Surprisingly, participants' eating patterns were very similar, and most spoonfuls were composed of different layers. For mousse-cream and mousse-mousse desserts, we observed that in both contexts, about half of the participants started eating their desserts with spoonfuls of top vanilla mousse only. Likewise, about half of the participants finished their product with spoonfuls of bottom layer only (i.e. chocolate, cream or mousse). Similar patterns were observed for cream-cream desserts. Despite some individual features, eating styles were very close regardless of the dessert type.

Finally, it was interesting to observe from the videos that participants in sensory booths focused much more on their spoonfuls especially at the time of swallowing. By contrast, participants in the meal context were actively involved in their discussions and did not pay much attention to their dessert. The behaviour observed in the sensory booths may have been induced by demand characteristics and participants' awareness of good practices in sensory evaluation (H. T. Lawless & Heymann, 2010), and surely also because subjects had no-one else nearby to divert their attention.

3.2 Experiment 2: Sensory characterization and perceived complexity

We first analysed the performance at the panellist and panel levels. We discarded the results from two out of 14 panellists because one was not discriminant and the other was not repeatable.

Regarding panel reliability (Tableau 21) a Rep*ProductSpoon effect was observed for vanilla only and was taken into account when interpreting the results ($F = 1.8$; $p = 0.002$). The homogeneity of the panel

was determined by evaluating the interaction between ProductSpoon and Panellist for each attribute. Significant Panellist*ProductSpoon interactions were observed for the five attributes (chocolate, sweet, milk, caramel and vanilla). However, the good discriminating ability of the panel showed that disagreements between panellists were mainly due to differences in the use of the intensity scales. The detailed temporal analysis of the eating patterns (20 observations per Product*Panellist) is naturally conducive to more significant product x subject interactions compared to usual profiling data.

Tableau 21. Results of the 3-way ANOVA for all descriptors

	DoF	Chocolate		Caramel		Milk		Sweet		Vanilla	
		F	p	F	p	F	p	F	p	F	p
Panellist	11	45.7	<0.0001	20.8	<0.0001	37.7	<0.0001	71.5	<0.0001	19	<0.0001
ProductSpoon	69	81.6	<0.0001	420.4	<0.0001	42.6	<0.0001	32.7	<0.0001	9.5	<0.0001
Rep	1	3.7	0.10	2.4	0.12	10.1	0.07	27.4	0.08	21.9	<0.0001
Panellist*ProductSpoon	759	2.4	<0.0001	3.7	<0.0001	2.2	<0.0001	2.6	<0.0001	1.9	<0.0001
Rep* ProductSpoon	69	0.7	0.96	1.0	0.47	0.9	0.61	1.0	0.50	1.8	0.0002
Panellist* Rep	11	6.4	0.0001	7.4	<0.0001	3.1	0.0003	7.7	<0.0001	9.9	<0.0001

3.2.1 Sensory characterization

After a two-way ANOVA with products and spoonful as main effects, we observed that for all attributes, the spoonful x product interaction was significant. This means that panellists perceived differences in sensory properties between the first spoonful and the last one. Results of *post hoc* tests revealed that for each product, panellists did not perceive differences between similar spoonfuls (e.g. two successive spoonfuls [1/3 mousse – 2/3 cream]) but between different types of spoonful (e.g. one spoonful [1/3 mousse – 2/3 cream] and one spoonful [1/2 mousse – 1/2 cream]) (LSD, $p < 0.0001$). *Post hoc* tests also revealed no significant differences between mousse-mousse products for the same spoonfuls or between mousse-cream product for the same spoonfuls. But cream-cream products were perceived to be significantly different (LSD, $p < 0.05$).

The PCA of the average descriptive data shows three groups of products: mousse-mousse products, mousse-cream products and cream-cream products (Figure 32). To gain a better understanding of the sensory evolution between spoonfuls, we grouped spoonful types after checking they were not different in any of the attributes. This allowed us to draw 'sensory paths' relating the different sequences of spoonful types on the factorial map. The grouped spoonful types are represented in Figure 5 with spoonful icons, and connected to each other with arrows to underline the temporal evolution.

We observe that mousse-mousse products and mousse-cream products had very similar sensory paths. These sensory paths were linked to a sensory evolution from milk and vanilla to chocolate and sweet. Conversely, cream-cream sensory paths were mainly characterized by their caramel note.

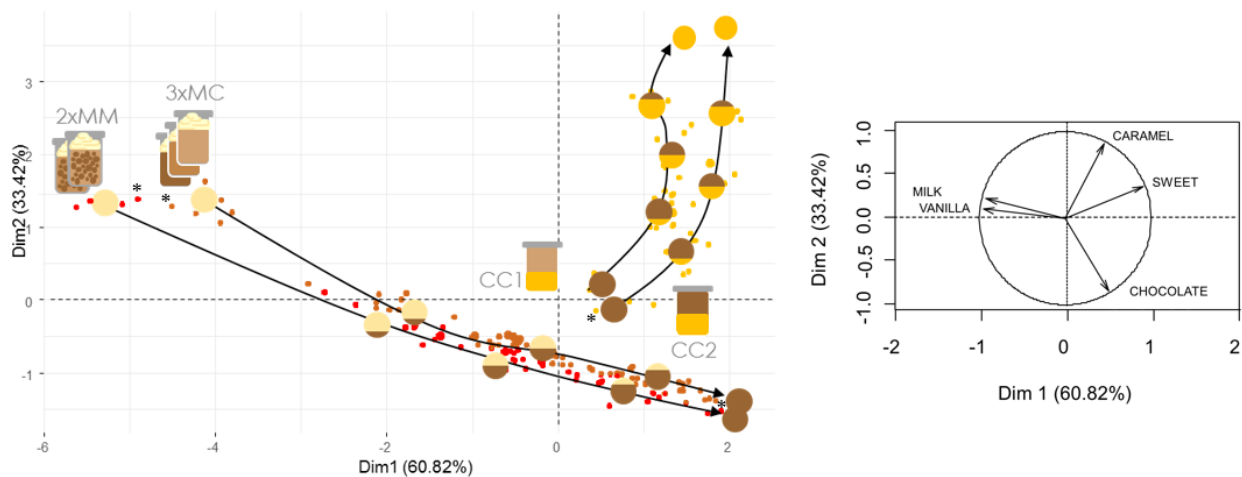


Figure 32. Representation of the products of the PCA performed on the table of averages of the assessors by Product Spoon and by descriptor. Mousse-mousse points are in red, mousse-cream points are in brown while cream-coulis points are in yellow. Four sensory paths are drawn with black arrows and with spoon icons. Asterisks indicate spoons composed of identical layers

In Figure 5, four points (marked with an asterisk) represent spoonfuls composed of identical layers, although they belonged to different products: two vanilla mousse spoonfuls were from the MC1 and MM1 products, and two chocolate cream spoonfuls originated from MC1 and CC2. It is interesting to note that the two vanilla mousse spoonfuls are very close on the map, showing that panellists perceived these spoonfuls similarly. On the contrary, the two chocolate cream spoonfuls were not perceived identically, even though they were made up of the same chocolate cream. This difference could be explained by the different temporal experience: starting with a spoonful of chocolate cream does not result in the same sensory perception as finishing with a spoonful of chocolate cream. Nevertheless, we cannot rule out the possibility that the caramel cream flavour diffused into the chocolate cream, giving it an additional caramel note in the CC2 product.

If we look at distances on sensory paths, we observe that mousse-mousse products and mousse-cream products have a longer sensory path than cream-cream products. We can also underline that for mousse-mousse and mousse-cream products, the distances between vanilla mousse spoonfuls and others are greater. This highlights the fact that the evolution of sensory perception during the eating episode was more marked for the mousse-mousse and mousse-cream products. This may result from texture contrasts across the layers, whereas the cream-cream products are more homogeneous in terms of texture.

3.2.2 Perceived complexity

Perceived complexity was first analysed at the panel level. We observed a significant difference between products using ANOVA ($p < 0.05$). Three groups of products were identified (LSD, $p < 0.05$) (Figure 33). CC1 and CC2 appear to be more complex and MM2, MC1, MM1 and MC2 less complex.

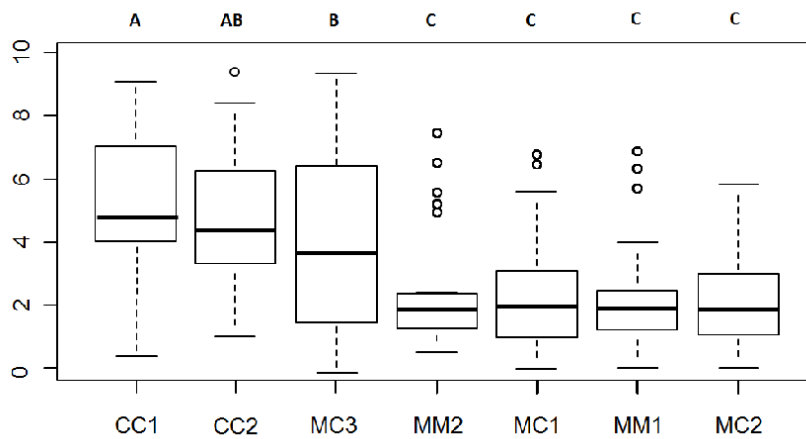


Figure 33. BoxPlots of perceived complexity for each product. Boxplots with different letters differ significantly at $p < 0.05$ (LSD test)

However, complexity, which is a collative property, should be analysed at the individual level (Levy et al., 2006). Thus a hierarchical cluster analysis was performed on panellists' scores of perceived complexities. We identified three classes of panellists who evaluated product complexity in a similar way (Figure 34). A two-way ANOVA with group, product and group x product effects was performed on perceived complexity scores to check differences in perceived complexity scores between products and between groups. The group x product interaction was significant ($p < 0.05$), meaning that groups had different points of view on products' perceived complexity. The ANOVA for each cluster of panellists revealed that the product effect was significant for Clusters 1 and 2. Results of the Fisher LSD test showed that in Cluster 2, products fell into two clear categories: products with a high perceived complexity (CC1 and CC2) and products with a low perceived complexity. In Cluster 1 product MC3 had the highest perceived complexity, with no clear difference between the others. For both Clusters 1 and 2 CC1, CC2 and MC3 were the products with the highest perceived (Figure 34).

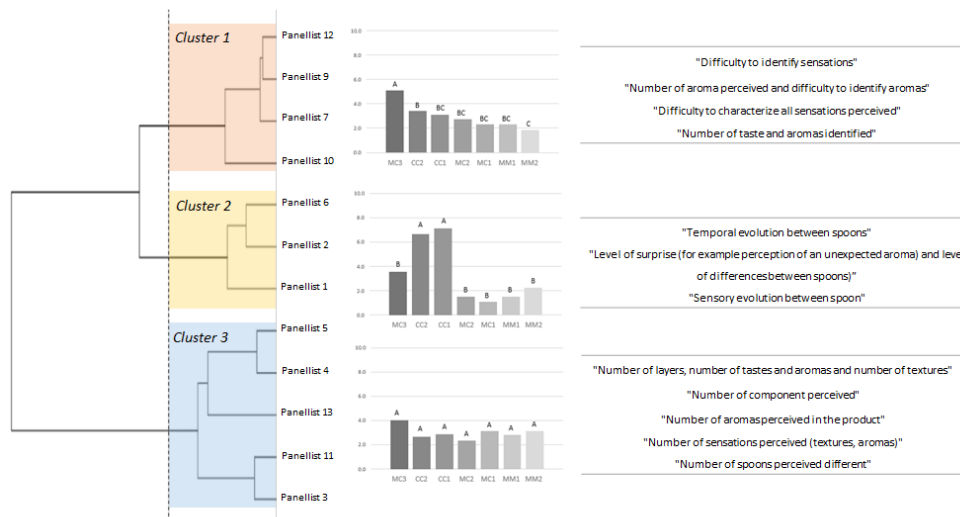


Figure 34. Results of hierarchical cluster analysis on normalized perceived complexity scores with average scores of perceived complexities for each cluster and each product. For each cluster, definitions of perceived complexity given by panellists and used for their evaluation

Interestingly, the definitions of complexity given by each panellist were close within each cluster. Panellists in Cluster 3 referred to ‘the number of sensations perceived’ (aroma, taste, texture, or layers), whereas panellists in Cluster 2, focused on the sensory evolution during consumption, and panellists in Cluster 1 linked product complexity to the ‘difficulty identifying sensations characterizing the product’.

3.2.3 Relationship between perceived complexity and sensory characterization

The collative nature of complexity requires an analysis at the individual level. Sensory complexity can be related to the richness of perceived sensations brought by the product as a whole or from the evolution of sensations during the eating episode. Complexity could thus be considered for each spoonful separately (i.e. total number of different sensations perceived) or for the whole eating episode with a focus on the sequence of sensations. To transcribe and quantify these two notions, we defined two criteria for analysing individual data. These criteria are based on individual descriptive data: the maximum number of salient attributes (Criterion A), and the fluctuation of dominant attributes over the sequence of spoonfuls (Criterion B) (Figure 35).

An attribute was defined as ‘salient’ when its intensity was rated above a fixed threshold set at 20% of the intensity scale. To estimate the maximum number of salient attributes for each product (all spoonfuls considered) we counted for each spoonful the number of salient attributes. The maximum number of attributes over all 10 spoonfuls was kept as Criterion A for that given product. Theoretically, Criterion A could thus range from 0 to 5.

An attribute was defined as ‘dominant’ when its intensity was higher than the other four attributes. The fluctuation of dominant attributes was based on the relative intensity of the attributes over the whole sequence of spoonfuls. Thus only one attribute could be dominant for each spoonful. Theoretically, Criterion B could thus range from 1 to 10.

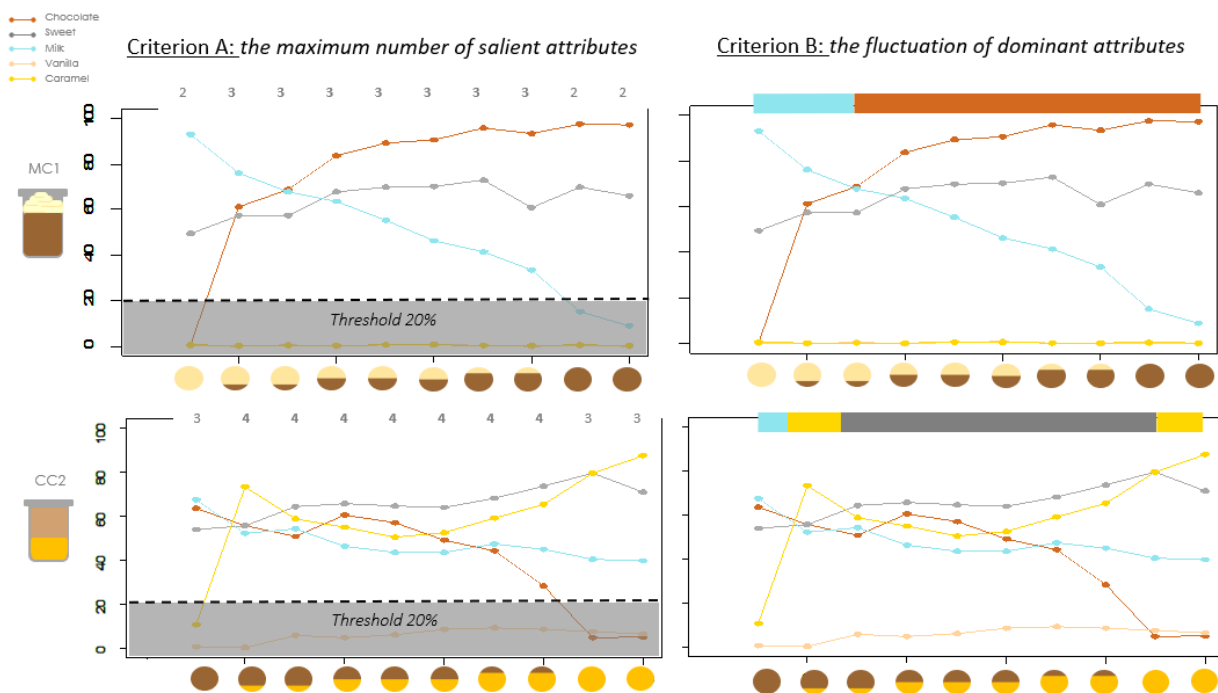


Figure 35. Example extracted from panellist 6 for the MC1 and CC2 products. Panellist 6 evaluated the perceived complexity at 0.5 for MC1 product and 9.7 for CC2 product. On the left-hand side, Criterion A (the maximum number of salient attributes) is 3 for MC1 and 4 for CC2. On the right-hand side, Criterion B (the fluctuation of dominant attributes) is 2 for MC1 and 4 for CC2.

Criteria A and B were calculated for all panellists and all products. Pearson correlation coefficients were calculated (for each panellist) between scores of perceived complexities and scores obtained for Criteria A and B (Tableau 22). A threshold of 0.1 was chosen considering the type of data used.

Tableau 22. Pearson correlation coefficients per panellist between scores of perceived complexity and scores for criterion A and criterion B (significant correlations at the 10% threshold appear in bold)

		Criterion A	Criterion B
Cluster 1	Panellist 7	0.87	0.78
	Panellist 9	0.69	0.58
	Panellist 10	0.67	0.89
	Panellist 12	0.78	0.64
Cluster 2	Panellist 1	0.59	0.77
	Panellist 2	0.66	0.78
	Panellist 6	0.71	0.89
Cluster 3	Panellist 3	0.57	0.68
	Panellist 4	0.21	0.25
	Panellist 5	0.11	0.16
	Panellist 11	0.79	0.72
	Panellist 13	0.80	0.09

Results for Criterion A showed a significant correlation with perceived complexity for ten panellists out of 12. For all of them, the greater the number of salient attributes, the more complex they perceived the product to be. For Criterion B, fluctuation of dominant attributes related positively to complexity for nine out of 12 panellists. Thus the richness of perceived sensations in a spoonful or during the whole eating episode seems to have had an impact on perceived complexity for most of the panellists. It is of note that panellists for whom no such relationships were observed in fact did not perceive any differences between the products in terms of complexity. They are all clustered in Group 3.

4. Discussion and conclusion

The adaptation of the sequential profiling developed by Methven et al. (2010) proposed in this article allowed the evaluation of a full eating experience. It highlighted the evolution of key sensory attributes during the consumption of a whole cup. The sequential profile revealed a clear sensory discrimination between spoonfuls and enabled us to discern sensory paths for a given product, from the first bite to the last one. We adapted the method to increase the number of spoonfuls, which did not complicate the sequential profiling technique and was easily understood and performed by trained sensory panellists. Nevertheless, the relatively small number of attributes (five in this study and discussed below) did not allow discrimination of all products. In addition, mousse-mousse products and mousse-cream products had very similar sensory paths: from *milk* and *vanilla* to *chocolate* and *sweet*. Conversely, cream-cream sensory paths were mainly characterized by the evolution of the *caramel* note. In a recent study, Withers et al. (2016) adapted the sequential profiling to manage more sensory attributes. Their results show that increasing the number of attributes to ten helps better discriminate samples. However, increasing the number of attributes also drastically increases the total time needed to complete the profiling study (Withers et al., 2016).

It should be emphasized that starting with an observational study brings a sensory characterization closer to a potential eating behaviour. Observing consumers helps us identify different eating styles and build our evaluation protocol on these observations. There was no available knowledge on consumers' behaviour with multi-layered products. Only one recent study observed that consumers can be categorized according to their mouth behaviours (crunchers, suckers, smoothers and chewers) involving different sensory perceptions (Jeltema, Beckley, & Vahalik, 2016). Like Jeltema et al., 2016, we observed different eating styles affecting sensory perceptions. The relative proportions of the different eating styles in the population of consumers would be interesting to determine with a larger and more representative population. For such a study, attention should be paid to context (including an instruction evaluation task) to limit demand characteristics. For example, we observed that in the meal context, subjects ate faster (5.75 vs. 8.5 seconds) and paid little attention to their desserts. Given that these desserts are eaten after dinner, it would be interesting to allow for subjects' satiety, which can influence consumption behaviour. We know, for example, that the time taken to eat a whole portion will increase with the level of satiety (Duncan, Bacon, & Weinsier, 1983).

From a sensory methodology standpoint, it was also of interest to re-evaluate the temporal eating pattern in regard to temporal sensory methodologies. In particular, the time to eat a spoonful. Our results show that participants ate a spoonful in 7.3 seconds on average (and eating the whole dessert took less than 2 minutes). This time frame is very different from the evaluation time imposed during

more usual descriptive dynamic methods for dairy products. For example, task duration imposed for the evaluation of one spoonful in TCATA can range from 30 to 45 seconds (Alcaire et al., 2017; Ares, Jaeger, et al., 2015; Castura et al., 2016; Esmerino et al., 2017) and in TDS from 45 to 90 seconds (Ares, Jaeger, et al., 2015; Bouteille et al., 2013; Esmerino et al., 2017; Morais et al., 2014). Furthermore, with these methodologies, participants are often asked to eat the product in a specific way, to keep the product in their mouth and to swallow at a specific time for standardization purposes (H. T. Lawless & Heymann, 2010). All these methodologies were obviously designed to ensure accuracy of measurement (Cadena et al., 2014), but they may differ from what consumers perceive during a real eating episode.

Regarding the perception of complexity, we observed different clusters of perception. One group did not report any difference in complexity between products, while the other two groups perceived differences, but for some product types only. This illustrates the collative nature of complexity, and supports Lévy et al.'s view that no two subjects have the same perception of complexity (Lévy et al., 2006). In addition, we noted that groups with similar complexity scores were composed of panellists using a close underlying notion to define perceived complexity. Some referred to the 'number of sensations perceived', which is the most widely used definition in the literature (Bitnes et al., 2009; Lévy et al., 2006; Meillon et al., 2010; Porcherot & Issanchou, 1998; Reverdy et al., 2010; Ruijschop et al., 2009; Weijzen et al., 2008). Sensory evolution during consumption was used by three panellists, and is also mentioned by some authors (Larsen et al., 2016; Tang et al., 2017, 2016). Lastly, some panellists defined complexity as the 'difficulty identifying sensations or characterizing the product'. This notion is also used in some studies on aroma and taste complexity (Lévy et al., 2006; Meillon et al., 2010; Porcherot and Issanchou, 1998; Ruijschop et al., 2009). All these approaches refer to the sensory dimension of complexity (Palczak et al., 2019). It is interesting to note that the emotional dimension ('level of surprise') was also used by one of our panellists, which echoes Reverdy et al.'s study on the complexity of hot dishes (Reverdy et al., 2010).

In this work, perceived complexity was evaluated on a linear scale ranging from 'not complex' to 'very complex'. Each panellist was free to develop their own definition of complexity during the training period. This possibility was appreciated by panellists, as it left them some freedom in their evaluation. In the literature, measures of perceived complexity are extremely diverse. Direct evaluation of complexity on a scale is the most widely used technique (Giacalone, Duerlund, Bøegh-Petersen, Bredie, & Frøst, 2014; Lévy et al., 2006; Meillon et al., 2010; Porcherot & Issanchou, 1998; Schlich, Medel Maraboli, Urbano, & Parr, 2015; Soerensen, Waehrens, & Byrne, 2015; Stolzenbach, Bredie, Christensen, & Byrne, 2016; Sulmont-Rossé, Chabanet, Issanchou, & Köster, 2008; Weijzen et al., 2008). Nevertheless, none of these studies allowed participants to spell out their own definition of perceived complexity, although two papers asked their participants to answer the question: "What characteristics did you consider in your evaluation of the complexity?" after they had completed the evaluation of complexity (Marcano et al., 2015; Pierguidi et al., 2019). In both articles, generated terms helped the authors to understand and discuss what sensory characteristics are considered by consumers to judge complexity.

Despite the differences in the notions underlying perceived complexity, analysis of complexity scores at the individual level provided some common and insightful findings. Perceived complexity of bi-layered chocolate desserts seems to be impacted by the richness of sensations perceived. These sensations can be perceived for one spoonful or across the whole eating episode. The two criteria we used transcribe these notions: the number of salient attributes and the fluctuation of dominant attributes. The link

between perceived complexity and the richness of sensations perceived could be expected. In their study on perceived complexity of wine, Meillon et al. (2010) also showed that complexity scores increased with the number of perceived aromas. They also related complexity to the superimposition of sensations along a timeline, which we did not assess in the present study.

It should be stressed that in this study, we limited the number of sensory attributes to five flavour attributes to limit the time of evaluation per spoonful. We decided to focus the sensory characterization of perceived complexity only on flavour evolution because products were chosen to express different flavour sensations. It would thus also be of interest to extend the study to the evaluation of texture.

Overall, our results show that evaluating product complexity requires dynamic, detailed measurements of perceived sensory characteristics. Future developments in dynamic sensory methods will need to find the right balance between the necessary accuracy of the measurement and its validity in relation to consumer behaviour. In addition, we emphasize that although this study was conducted with a small number of trained panelists, it supports the idea that complexity is a collative property. The measurement of complexity itself should therefore consider the diversity of participants' perceptions. Future experiments involving untrained consumers would be needed to further explore that diversity.

A setenis

Cet article propose une adaptation de la méthodologie sensorielle du Profil Séquentiel développée par Methven et al., 2010. Cette adaptation permet la caractérisation d'une expérience sensorielle complète. Grâce à cette nouvelle méthodologie, il est possible de déterminer l'évolution d'attributs sensoriels clés (ici cinq attributs aromatiques) au cours de la consommation d'un pot entier.

Une étude observationnelle a été mise en place pour développer le protocole sensoriel utilisé. Cette étude a permis de comprendre les comportements de consommation face à des produits bicouches au chocolat. Généralement, les consommateurs ne mélangent pas le produit avant de le manger ; ils préfèrent réaliser des cuillères avec plus ou moins les deux couches (en différentes proportions). De plus nos résultats montrent que les consommateurs mettent moins de 2 minutes pour manger entièrement un dessert de ce type et en moyenne 7.3 secondes pour manger une seule cuillère.

Dans cette étude, nous avons choisi de faire évaluer la complexité sensorielle par des juges entraînés. Chaque juge avait la liberté de construire sa propre définition de la complexité sensorielle et de l'évaluer en conséquent sur une échelle continue. Cette liberté a été très appréciée par les juges, ils n'ont ensuite pas eu de difficulté à évaluer la complexité sur une échelle. Nos résultats confirment le caractère collatif de la complexité : en fonction des juges, la complexité peut être perçue comme le nombre de sensations perçues, l'évolution des sensations au cours de la consommation du dessert ou la difficulté à identifier et caractériser les sensations perçues.

Par ailleurs, ce chapitre met en évidence que la complexité sensorielle d'un produit est liée à deux critères sensoriels principaux : le nombre d'attributs saillants et la fluctuation de l'attribut dominant. Ainsi, la complexité sensorielle semble impactée par la richesse aromatique perçue et par l'évolution de des sensations au cours de la consommation du produit.

CHAPITRE 4

Influence de la complexité sensorielle sur les préférences pour de nouveaux desserts laitiers gourmands

Article 4

La complexité est considérée comme une dimension importante dans la formation des préférences à cause de sa relation avec l'appréciation mis en avant dans la Théorie de Berlyne. Cette théorie, développé dans le domaine de l'esthétisme expérimental, a cependant été remise en question dans l'alimentaire et les boissons. Ainsi, cette étude a pour objective de comprendre l'influence de la complexité sensorielle sur les préférences des consommateurs pour différents desserts gourmands. En considérant plusieurs limites soulevées dans la littérature plusieurs points ont fait l'objet d'une attention particulière. Premièrement, nous avons contrôlé et évalué le niveau de familiarité des consommateurs interrogés. Nous avons également travaillé avec sept produits afin d'avoir assez de variables pour estimer le modèle quadratique utilisé par Berlyne. Nous avons évalué la complexité et l'appréciation par les mêmes consommateurs et enfin, analysé les données après avoir regroupé les consommateurs selon leur perceptions de la complexité sensorielles. Pour évaluer l'appréciation ainsi que la complexité sensorielle des produit, 145 consommateurs ont été recrutés pour participer à une étude quantitative. Les sept produits ont également été caractérisés par un panel sensoriel en utilisant une adaptation du Profil Séquentiel. Nous avons mis en avant quatre groupes de consommateurs ayant des perceptions différentes de la complexité sensorielle. Pour deux groupes, l'influence de la complexité sur les préférences est conforme à la théorie de Berlyne. Des différences individuelles ont également été soulignées entre les groupes tels que le comportement de consommation et le niveau de familiarité avec les produits laitiers. Enfin, nos résultats confirment l'importance d'utiliser une évaluation dynamique pour comprendre la complexité sensorielle. En effet, nos résultats mettent en avant l'influence du nombre de sensations et de leur évolution temporelle sur la complexité sensorielle. Pour la première fois, les effets de la texture, des goûts et de l'aromatizations sur la complexité perçue ont été conjointement démontré.

Sommaire

1. Introduction	126
2. Materials and Methods.....	127
2.1 Products	127
2.2 Consumer evaluation	128
2.3 Sensory characterization	129
2.4 Statistical analysis	131
2.4.1 Consumer data	131
2.4.2 Sensory data	133
3. Results.....	133
3.1 Consumer perception of the seven desserts	133
3.1.1 Perceived complexity of the seven desserts	133
3.1.2 Liking for the seven desserts	135
3.1.3 Relationship between complexity and liking	135
3.2 Sensory findings	136
3.2.1 Sensory characteristics of the seven desserts	136
3.3 Relationship between perceived complexity and other factors	137
3.3.1 Relationship between perceived complexity and extrinsic factors	137
3.3.2 Relationship between perceived complexity and intrinsic factors	138
4. Discussion.....	140
4.1 The perception of sensory complexity	140
4.1.1 Consumers in Groups 1, 2 and 4	140
4.1.2 Consumers in Group 3	141
4.2 Extrinsic and intrinsic determinants of sensory complexity	141
4.3 The influence of sensory complexity on preferences	142
4.4 Methodological aspects	144
4.4.1 Measurement of sensory complexity	144
4.4.2 Adaptation of the Sequential Profiling	144
5. Conclusion	144

Influence of sensory complexity on preferences for novel gourmet dairy desserts : Does Berlyne's Theory apply to desserts?

Julie Palczak ^{a,b}, David Blumenthal ^a, Julien Delarue ^a

^a UMR GENIAL Ingénierie Procédés Aliments, AgroParisTech, INRA, Université Paris-Saclay, 91300 Massy, France

^b Sensory and Behavior Science Department, Danone Nutricia Research, France

Berlyne's theory of hedonic appreciation in experimental aesthetics includes complexity as a relevant dimension in the development of preferences. However, the soundness of this theory in the field of food and beverages has been challenged. The work reported here investigates the influence of perceived complexity on consumers' preferences for some dairy desserts. Given the limits on sensory complexity reported in the literature, we (i) controlled for consumers' level of familiarity with the products, (ii) used enough products to be able to test a quadratic model, (iii) evaluated sensory complexity with consumers, and (iv) analyzed data after clustering. Seven gourmet dairy desserts were tested by 145 French consumers, unfamiliar with this type of product, in a quantitative study. Products were also sensory-characterized by a panel using an adaptation of Sequential Profiling. We distinguished four groups of consumers with different perceptions of sensory complexity. For three groups, the influence of complexity on preference seems in line with Berlyne's theory. Individual differences were also underlined between groups as the self-reported eating style and the level of familiarity with dairy products. Finally, our results confirm the importance of a dynamic evaluation to understand sensory complexity. Indeed, our findings show the influence of the number of sensations and their temporal evolution on sensory complexity. For the first time, we underline the potential effect of texture and flavor sensations on perceived complexity.

1. Introduction

In the food industry, sensory analysis is often used in conjunction with hedonic measurement to support product development and optimization. In this view, techniques like external preference mapping are used to predict consumers' preferences, with sensory characteristics (McEwan, 1996). Unfortunately, the high rate of failure of newly launched products questions the capacity of sensory characteristics alone to predict consumers' preferences. Some authors have underlined the potential effect of other dimensions in the development of food preferences (Köster, 2009). According to Berlyne, the evolution of hedonic judgment toward a stimulus as a function of its specific properties for an individual follows an inverted U-curve (Berlyne, 1971). These specific properties are divided into psychophysical, ecological and collative properties. Psychophysical properties relate to the product itself (i.e. stimulus intensity), ecological properties are linked to the biological state of the perceiver (i.e. thirsty, hungry) and collative properties are both linked to the product and to the perceiver. Complexity is one of the collative properties that may impact preferences (Jellinek & Köster, 1979, 1983). Berlyne's work shows that preferred products have a medium level of perceived complexity while products with lower or higher levels of perceived complexity are less preferred. However, these findings were obtained in the field of experimental aesthetics and only focused on visual patterns. In other fields, the applicability of Berlyne's theory has been questioned. Some results are indeed not always consistent with the theory and some authors have challenged its application in art (Martindale, Moore, & Borkum, 1990), music

(Chmiel & Schubert, 2017) and food and beverages (Palczak, Blumenthal, Rogeaux, & Delarue, 2019). Even so, two studies on food and beverages yielded results in line with Berlyne's model: one using pictures of food (Mielby, Kildegaard, Gabrielsen, Edelenbos, & Thybo, 2012) and one on beverages (Pierguidi, Spinelli, Dinnella, Prescott, & Monteleone, 2019). It is important to underline that these two studies are the only ones that considered the collative nature of complexity (Köster & Mojet, 2007b, 2007a). That is to say, the fact that each person has his or her own arousal potential level as well as his or her own perception of complexity, which can also change with experience. Complexity should therefore be analyzed at the individual level or at least after clustering consumers. Besides, some extrinsic factors such as expertise and familiarity can be potentially considered to understand divergent perceptions (Palczak, Blumenthal, Rogeaux, & Delarue, 2019). As a matter of fact, some authors have shown that the perception of sensory complexity may be influenced by the level of expertise (Parr, Mouret, Blackmore, Pelquest-Hunt, & Urdapilleta, 2011; Schlich, Medel Maraboli, Urbano, & Parr, 2015) or by the level of familiarity (Meillon et al., 2010). Finally, besides complexity, we may expect other properties (psychophysical, ecological and collative properties) to also influence the development of preferences.

Studies on food and beverages have shown mixed results, and further experiments are needed to explore sensory complexity in more depth. The first objective of this study was to understand how consumers perceive sensory complexity and to investigate the influence of this perception on the construction of preferences. We hypothesized that Berlyne's theory would work for food providing that data were analyzed at the individual level, i.e. allowing for the collative nature of sensory complexity. To this end, we asked consumers to evaluate their own perception of complexity. Our second objective was to explore the determinants of sensory complexity. Complexity is considered as a multimodal dimension (Jellinek & Köster, 1979) influenced by sensations perceived and their temporality. Some authors have explored the temporal aspect of complexity using TDS methodology (Meillon et al., 2010; Paulsen, Næs, Ueland, Rukke, & Hersleth, 2013; Tang, Larsen, Ferguson, & James, 2016). However, perceived complexity can also result from the perception of subtle sensations, often untracked on TDS profiles (Paulsen, Ueland, Nilsen, Öström, & Hersleth, 2012). Some authors have underlined that the perception of sensory complexity in a food product is built over the full eating or drinking experience (Spence, 2018; Wang & Spence, 2018). In a previous experiment (Palczak, Blumenthal, & Delarue, 2019), we thus adapted the sequential profiling method (Methven et al., 2010) to be able to characterize this full sensory experience and all perceived sensations, even the most subtle. This method was based on observed consumers' eating styles. As sensory complexity can be perceived differently from one person to another, we hypothesized that sensory determinants could also differ between consumers. Finally, we investigated whether consumers' characteristics such as expertise, familiarity and eating style played a role in the perception of complexity.

2. Materials and Methods

2.1 Products

Seven different commercial gourmet desserts were selected (Tableau 23). These products were considered as gourmet desserts because of their fat content (8.3 g/100 g, close to Greek style yogurts). They belonged to the same brand and were made in the same factory. They were chosen to differ in

sensory profile and to span a range of perceived complexity based on three criteria: number of layers, the addition of a distinctive flavor and the addition of chunks (Palczak, Giboreau, Rogeaux, & Delarue, 2019).

Desserts were coded using a sequence of three digits (e.g. 2-1-0; Tableau 23). The first digit corresponded to the bottom layer (1 for no bottom layer, 2 for caramel and 3 for coffee); the second digit corresponded to the original flavor added (0 for no original flavor added, 1 for one original flavor added); the third corresponded to chunks added (0 for no chunks added, 1 for chunks added). Thus product 1-0-0 was a stirred unflavored sweetened dessert while the six others were bi-layered desserts composed of the same unflavored sweetened part on top but with a coulis on the bottom. The expected sensory complexity was estimated based on the three design parameters: (i) the presence of a bottom layer, (ii) the presence of an unusual flavor and (iii) the presence of chunks (Tableau 23).

Tableau 23. Gourmet desserts selected for the study

Product code	Top layer	Bottom layer	Original flavor added in the bottom layer	Chunks added in the bottom layer	Expected sensory complexity
1-0-0	Unflavored sweetened	N/A	N/A	N/A	low
2-0-0	Unflavored sweetened	Caramel	N/A	N/A	medium
2-1-0	Unflavored sweetened	Caramel	Banana	N/A	high
2-0-1	Unflavored sweetened	Caramel	N/A	Hazelnut pieces (hard)	high
2-1-1	Unflavored sweetened	Caramel	Cinnamon	Apple pieces (soft)	high
3-0-0	Unflavored sweetened	Coffee	N/A	N/A	medium
3-1-1	Unflavored sweetened	Coffee	Tiramisu	Sponge (soft)	high

These desserts were also chosen because they had not been launched on the French market at the time of the study (November 2018). French consumers could therefore be assumed not to be familiar with these desserts.

The desserts were taken out of the cold storage room just before the testing sessions. They were presented in their original cups without the lids (blinding consumers to products).

2.2 Consumer evaluation

A total of 145 French adults were recruited to take part in the study (80 men and 65 women, aged between 19 and 65 years). They were all consumers of dairy yogurts (at least once a week) and had no aversion for Greek-style (high-fat and high-protein content yogurts) or bi-layered yogurts, or for any of the flavors chosen (caramel, apple, banana, hazelnut, cinnamon, coffee and tiramisu). Consumers did not receive any training on the evaluation of dairy products, and so we assumed the level of sensory expertise to be low for all the consumers. The consumer test took place in a laboratory in Paris. Consumers were invited to test the seven products over four successive days, meaning they tested two products per day. As selected products presented a wide variety of flavors, they were evaluated in a series of three blocks gathering similar flavors. The unflavored sweetened dessert was always tested on Day 1 (bloc 1). On Days 2 and 3, caramel-based desserts were tested in a balanced order (bloc 2). Coffee-

based desserts were tested on Day 4, also in a balanced order (bloc 3). The evaluation procedure was the same for all products, except for the unflavored sweetened dessert (Figure 36).

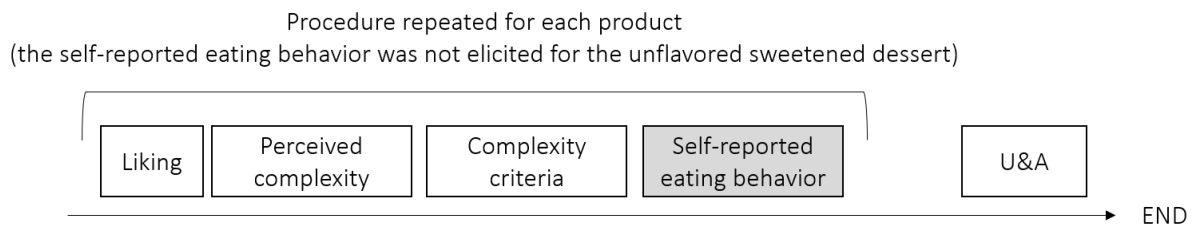


Figure 36. Evaluation procedure followed during the consumer test

First, participants were asked to report their liking of the dessert using 10-point hedonic scale (i.e. a most common hedonic scale in France). Complexity was then evaluated using a 10 cm unstructured linear scale ranging from “not complex at all” to “very complex”. We did not provide any definition of complexity, so that each consumer could rate it unprompted. Nevertheless, to obtain insights into their understanding of complexity, a question was added after the evaluation of sensory complexity: “Out of the six following criteria, which one best fits your evaluation of sensory complexity?” The six criteria were (i) appearance, (ii) texture, (iii) evolution of sensations perceived during consumption, (iv) perception of many sensations, (v) perception of one or more unknown sensations and (vi) perception of one or more unexpected/surprising sensations (selected from Palczak, Blumenthal, & Delarue (2019)). Consumers were then asked to report how they ate the dessert out of four different possible ways: (i) I first stirred the dessert and then ate it, (ii) I ate the dessert layer by layer, (iii) I ate the dessert in spoonfuls composed of both layers (in different proportions) and (iv) I combined different ways.

Consumers were asked to give some personal information (age, gender) and to give their frequency of consumption for different dairy product types available on the French market. The results were used to estimate their level of familiarity with dairy products.

2.3 Sensory characterization

A panel was formed to characterize the seven products according to the adapted version of the sequential profiling (Palczak et al., 2019). This panel was composed of 13 panelists (2 men and 11 women, aged between 26 and 70 years). They all had previous experience in sensory evaluation of yogurts. A total of seventeen sessions were completed, including training and evaluation. All evaluation sessions were carried out in standard sensory booths. First, the thirteen panelists were familiarized with the adapted sequential profiling and with the pattern of spoonfuls they were to take and sensory-characterize (Figure 37). The pattern of spoonfuls was determined by the consumers’ self-reported eating behavior during the consumer evaluation stage. We observed that 50% of consumers ate this type of bi-layered dessert with different types of spoonfuls while 32% stirred the product before eating it. Hence four types of spoonfuls were evaluated for bi-layered desserts: three spoonfuls corresponding to consumers who eat dessert with different types of spoonfuls (S1, S2 and S3) and one for consumers who eat the product after stirring it (S4). For the unflavored sweetened dessert, we decided to sensory-

characterize two type of spoonfuls: S1 and S4. Panelists were instructed to take a sip of mineral water (Evian) between each spoonful evaluation.

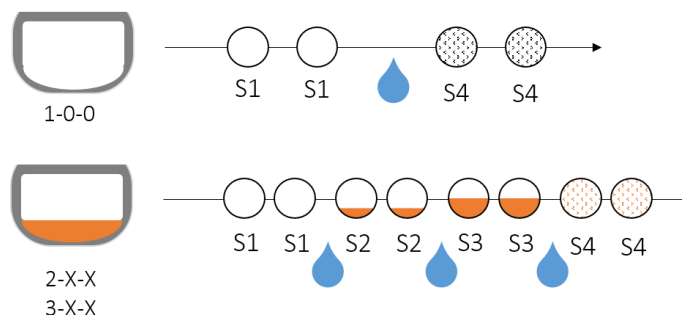


Figure 37. Eating pattern used to evaluate desserts

During two sessions, the panelists generated a vocabulary of sensory attributes that covered the texture, taste and flavor of the different spoonfuls. This was followed by a consensus phase, which enabled the compilation of a list of 16 attributes with their protocols for evaluation and their references (optional) (Tableau 24). The last seven sessions were used to train panelists in the evaluation of the 16 attributes for the different spoonfuls. Attributes were always evaluated on a 10 cm unstructured linear scale using computers with RedJade Software.

Tableau 24. Attribute list used for the sequential profiling

Sensory Dimension	Attribute	Definition and evaluation protocol	References
Texture	Thick in mouth	Measurement of the strength needed to squash a spoonful of product between tongue and palate.	
	Pieces firmness	Measurement of the firmness of pieces	
	Pieces size	Measurement of the size of pieces	
Basic taste	Sweet	Basic taste, perceived on the tongue	
	Salty	Basic taste, perceived on the tongue	
Flavor	Milky note	Intensity of milky note perceived (including milk, cream, fresh cheese, whey and butter notes)	
	Caramel	Intensity of caramel aroma perceived (including light caramel and dark toffee)	
	Vanilla	Intensity of vanilla aroma perceived (including vanilla sugar and vanilla pod)	
	Sponge	Intensity of sponge aroma perceived	Sponge fingers (Brossard)
	Hazelnut	Intensity of hazelnut aroma perceived (including fresh or burnt hazelnut)	
	Banana	Intensity of banana aroma perceived	
	Apple	Intensity of apple aroma perceived (including cooked, fermented and fresh apple)	
	Cinnamon	Intensity of cinnamon aroma perceived	Ground cinnamon
	Coffee	Intensity of coffee aroma perceived	
	Cocoa	Intensity of cocoa aroma perceived	Cocoa powder (Van Houten)
	Alcohol	Intensity of alcohol aroma perceived	White rum (Charette)

Given the large number of attributes generated, texture and basic taste were evaluated on a first spoonful and flavors on a second spoonful (Figure 37).

For the evaluation, four sessions (two replicates) were required. The desserts were presented and tested monadically following a balanced presentation order. Each panelist scored all the attributes for each dessert following the appropriate eating pattern using 10 cm unstructured linear scales.

2.4 Statistical analysis

2.4.1 Consumer data

Complete data were obtained from 145 consumers and analyzed as follows (Figure 38):

- (1) A k-means cluster analysis was performed on raw consumers' scores of perceived complexities to identify groups of consumers evaluating complexity in a similar way. The target criterion was the minimization of variance within the clusters and clearance was the squared Euclidean distance. As it is not possible to determine the number of clusters within k-means analysis, the elbow-criterion was observed to determine the number of clusters.
- (2) For each cluster obtained, ANOVA (with subject and product as factors) followed by an LSD test was done to determine which products significantly differed in perceived complexity.
- (3) To explore complexity meaning for consumers, CATA results obtained by consumers for all products were analyzed using Cochran's Q test to explore group differences across all attributes (Meyners, Castura, & Carr, 2013).
- (4) For each cluster, an ANOVA (with subject and product as factors) was then performed on liking scores followed by an LSD test to determine which products significantly differed in liking score in each group.
- (5) Regarding consumer characteristics, data were analyzed with a Khi2 test, using the Monte-Carlo procedure and a contrast evaluation, using the Marascuilo procedure.

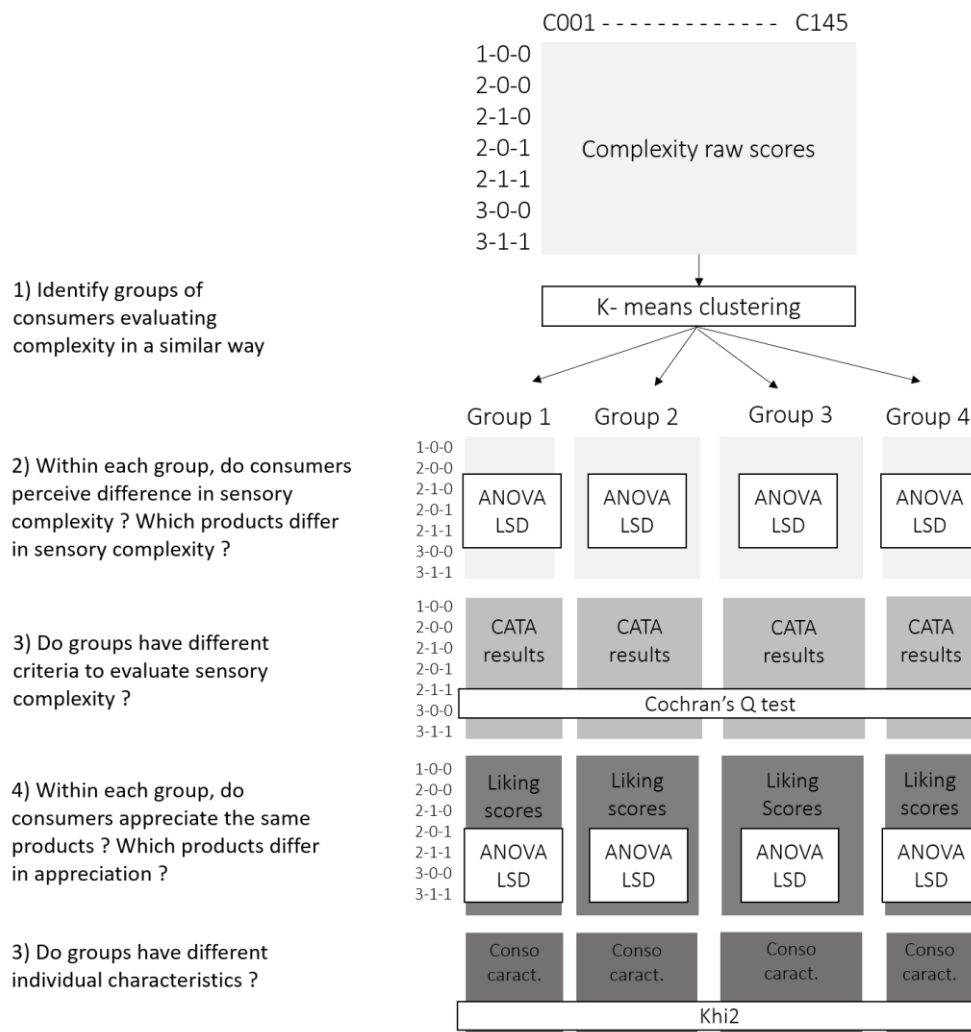


Figure 38. Data analysis procedure for consumer data

Finally, for each group, quadratic polynomials were used to predict liking with perceived complexity and its quadratic terms. All post hoc tests were performed with a significance threshold set at 5%. Statistical analysis of consumer data was performed using XLSTAT 2017 software (Addinsoft, Paris, France).

2.4.2 Sensory data

2.4.2.1 Panel and panelists performance

The panel and panelist performance were analyzed on the fourth spoonful (S4) from the whole dataset. Spoonful S4 was chosen because it was evaluated on all products. First, a product*repetition effect ($p < 0.05$) was observed for 2 of 16 attributes (hazelnut and salty) and was considered when interpreting the results. The agreement of the panel was determined by evaluating the interaction product*panelist for each attribute. No significant product*panelist effect ($p < 0.05$) was observed. We also noted a good discriminating ability of the panel based on the product effect ($p < 0.05$) except for two attributes, alcohol and salty. The attributes alcohol and salty were therefore removed for the subsequent analysis.

We discarded the results from one of the 13 panelists who showed a lack of repeatability and agreement compared to other panelists on key attributes.

2.4.2.2 Sensory characteristics

To assess the sensory evolution between spoonfuls, we ran a normalized principal component analysis (PCA) on the average table of the 26 observations (1 product x 2 spoonfuls + 6 product x 4 spoonfuls) and 14 attributes.

Finally, a hierarchical clustering analysis (HCA) was performed on the same average table, to identify clusters of spoonfuls with similar sensory characteristics.

The statistical analysis of sensory data was performed using R (version 3.6.0) and its extension RStudio® (version 1.2.1335).

3. Results

3.1 Consumer perception of the seven desserts

3.1.1 Perceived complexity of the seven desserts

Complexity scores were very different between consumers and between products. For the same product, complexity scores ranged from 0 to 10. Four groups of consumers were distinguished (Figure 39 (A)). The groups contained comparable numbers of consumers (respectively 31, 41, 44 and 29 consumers).

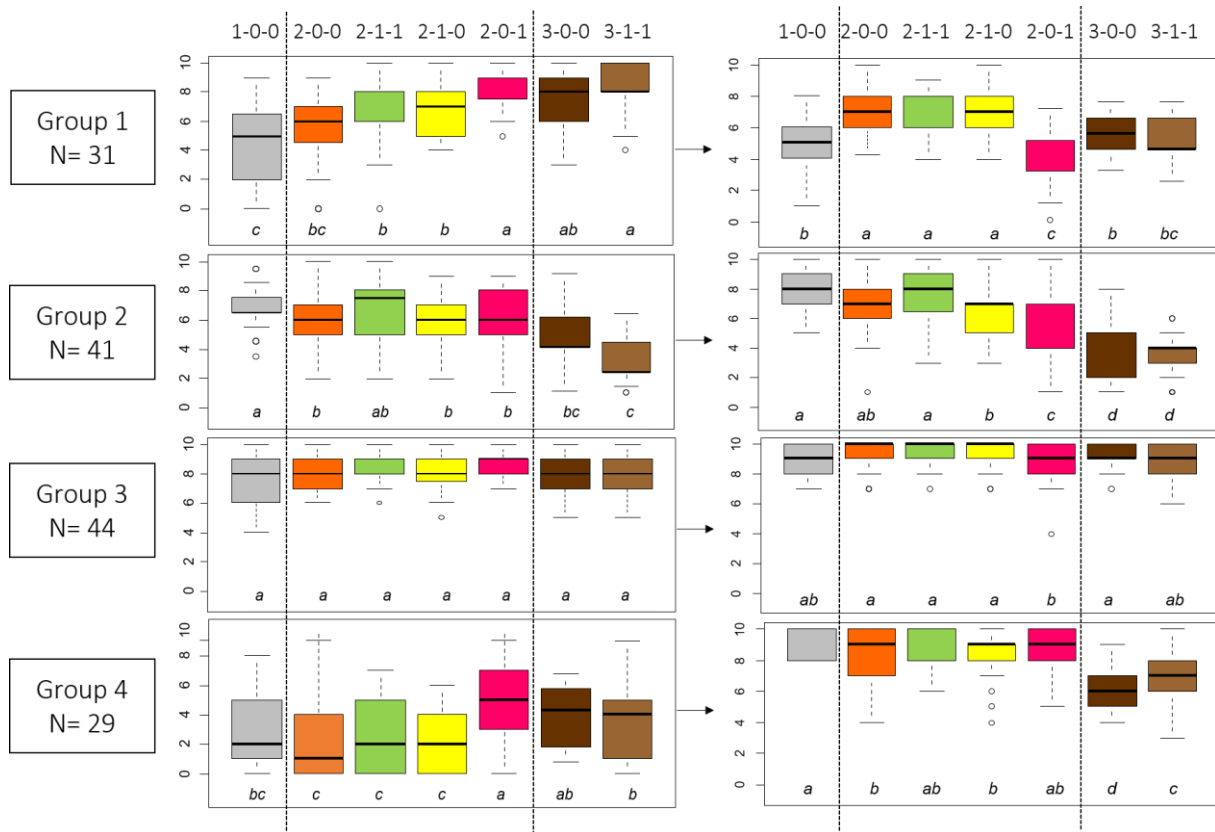


Figure 39. Results of k-means cluster analysis on perceived complexity scores with boxplots for each cluster and each dessert (A). For each group obtained, boxplot of liking scores per product (B). Boxplots with different letters differ significantly at $p < 0.05$

The ANOVA for each cluster revealed that the product effect was significant for Groups 1, 2 and 4. Results of the Fisher LSD test showed that Groups 1 and 2 had clearly opposing perceptions of complexity. For example, product 1-0-0 was perceived as the least complex for Group 1 but, surprisingly, the most complex for Group 2, while product 3-1-1 was perceived the most complex for Group 1 and the least complex for Group 2. Interestingly, in Group 4, consumers perceived differences between products, but average complexity scores per product were quite low with respect to Groups 1 and 2. In Group 3 products were all perceived with a high level of complexity.

The criteria chosen by consumers to evaluate sensory complexity differed between groups (Tableau 25). On average, consumers ticked 2.4 items (among the 6 criteria). 'Perception of many sensations' was the most frequently ticked criterion in all groups. Interestingly, 'texture' was an important criterion in evaluating perceived complexity for three groups. As observed in their perceived complexity scores, Groups 1 and 2 also had contrasting criteria to evaluate perceived complexity. For Group 1, perceived complexity was also linked to 'texture' and 'evolution of sensations perceived during consumption'. Conversely, for Group 2, perceived complexity was also related to the 'perception of one or more unknown sensations' and 'perception of one or more unexpected/surprising sensations'.

Tableau 25. Frequency of use of each attribute (CATA), all products were considered, per group. Cochran’s Q test was performed on each attribute and between groups. Significant p-values at 5% threshold are in bold.

Criteria	Average checking frequency				p-value
	Group 1	Group 2	Group 3	Group 4	
The appearance	0.12	0.15	0.61	0.26	0.026
The texture	0.87	0.35	0.71	0.82	0.018
The evolution of sensations perceived during the consumption	0.79	0.29	0.34	0.41	0.009
The perception of many sensations	0.90	0.86	0.79	0.89	0.412
The perception of one or more unknown sensations	0.23	0.78	0.37	0.53	0.002
The perception of one or more unexpected/surprising sensations	0.31	0.82	0.42	0.12	0.037

3.1.2 Liking for the seven desserts

Although groups were obtained on complexity scores, we found that best and least liked products were consistent within each group (Figure 39 (B)). The group*product interaction was significant ($p < 0.05$) meaning that groups liked different products. The ANOVA for each group revealed that the product effect was significant for all groups. Interestingly, the 2-1-1 (caramel/apple/cinnamon) was liked by all groups. The coffee-based desserts (3-0-0 and 3-1-1) were polarizing: liked by Groups 1 and 3, but rejected by Groups 2 and 4.

3.1.3 Relationship between complexity and liking

For Groups 1 the relationship between perceived complexity and liking can be represented as an inverted U-curve ($p < 0.05$), as predicted by Berlyne’s theory. For Group 2 a positive linear relationship was obtained between perceived complexity and liking ($p < 0.05$). For Group 3, we found no significant relationship. For Group 4, a U-curve was observed between perceived complexity and liking ($p < 0.05$) (Tableau 26).

Tableau 26. Relationship between perceived complexity (C) and liking scores (L) observed for each group. The model with the best R² was chosen.

	Group 1 (N=31)	Group 2 (N=41)	Group 3 (N=44)	Group 4 (N=29)
Relationship	Inverted U-curve	Positive linear	No significant relation	U-curve
Model	$F = 6.62, p=0.0016$	$F = 133.22, p<0.0001$	$F = 0.32, p=0.72$	$F = 13.7, p<0.0001$
Equation	$L = 4.95 + 0.84C - 0.06C^2$	$L = 1.33 + 1.15C$	$L = 9.01 + 0.02C$	$L = 9.26 - 0.76C + 0.07C^2$
R ²	0.34	0.48	0.04	0.12

3.2 Sensory findings

3.2.1 Sensory characteristics of the seven desserts

Sensory experiences were very different between products. The HCA showed eight groups of spoonfuls: groups are represented in gray on Figure 40. Most of groups were composed of spoonfuls of the same product. We observed two special cases: (i) tiramisu S1 (3-1-1) clustered with coffee spoonfuls (3-0-0) meaning that coffee aroma had infused into white mass, but not coca nor sponge aromas, and (ii) some S1 spoonfuls were in the same cluster because of their dairy notes, but also because they were perceived as sweeter than the unflavored sweetened spoonfuls (2-0-0).

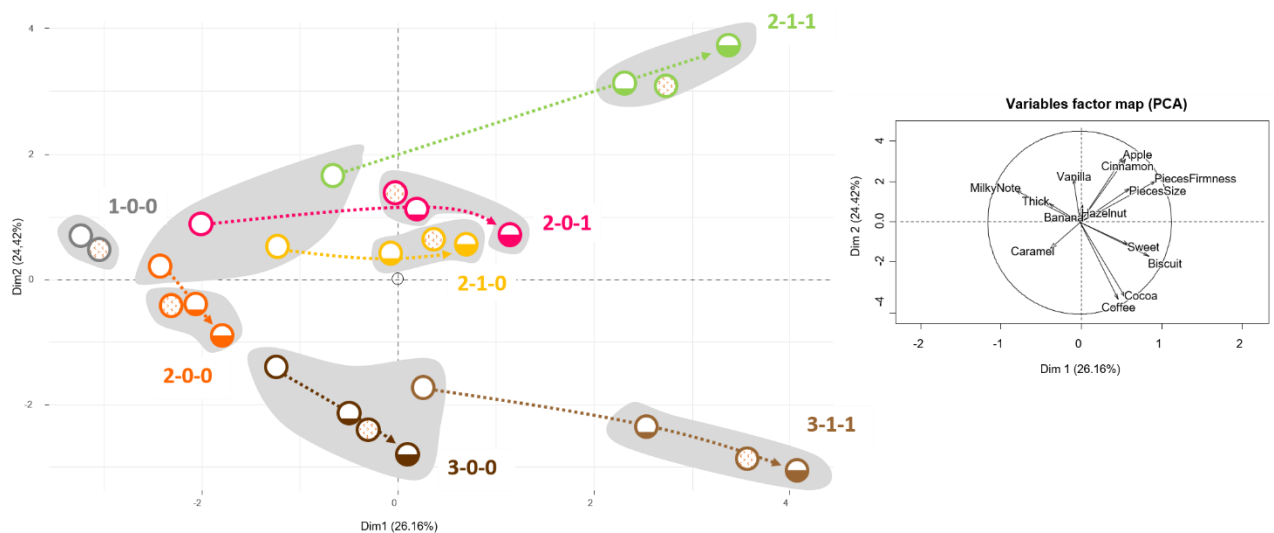


Figure 40. Representation of the products of the PCA performed on the table of averages of the panelists by product*spoonful and by descriptor. Spoon icons are used to represent each product*spoonful pair. Seven sensory paths are drawn with arrows to highlight the sensory evolution between spoonfuls S1-S2-S3 for each product

To gain a better understanding of the sensory evolution between spoonfuls, we drew 'sensory paths' relating the different sequences of spoonfuls type (S1-S2-S3) in the first factorial map (Figure 40). For product 1-0-0 and 2-0-0, sensory paths were very short compared to others. Two main directions emerge from these sensory paths: (i) from milky notes to coffee-cocoa-sweet notes and (ii) from milky notes to vanilla-apple-cinnamon-hazelnut notes and texture sensations. We can also observe that for all products, spoonfuls S4 (spoonful composed of the stirred dessert) were close to spoonfuls S2 or S3. It is also interesting to note that spoonfuls S1 are not so close in the map (Figure 40) while they are composed of the same unflavored sweetened layer. This difference could be explained by the bottom layer diffusion into the unflavored sweetened layer.

3.3 Relationship between perceived complexity and other factors

3.3.1 Relationship between perceived complexity and extrinsic factors

To explain the divergent results observed on the influence of perceived complexity on preferences, individual usage and characteristics were studied. Four different individual usages and characteristics were observed in each group: eating style, gender, age and level of familiarity with different dairy products (Tableau 27). Regarding eating styles, we found that consumers in Group 3 had different eating styles from other sub-groups (χ^2 , $p < 0.05$): 61% of consumers in Group 3 reported that they stirred the product before eating it, while in the whole population studied the average was 32%, and only 12% of consumers ate the product in spoonfuls composed of both layers, whereas in the whole population the average was 50%. Thus, the eating behavior seems to influence perceived sensory properties and therefore the perceived complexity.

For age and gender, we observed no difference between groups (χ^2 , $p < 0.05$). Interestingly, we found a difference in familiarity level between groups (χ^2 , $p < 0.05$). Group 2 was less familiar, while Group 4 was more familiar with dairy products.

Tableau 27. Percentage of consumers for different individual usage and characteristics per sub-group. In bold, frequency significantly different (χ^2 , $p < 0.05$)

		All participants	Group 1	Group 2	Group 3	Group 4	p-value
Eating style	I first stirred the dessert and then ate it	32%	23%	27%	61%	14%	0.002
	I ate the product layer per layer	6%	5%	5%	7%	7%	0.645
	I ate the product in spoonfuls composed of both layers	50%	68%	69%	12%	69%	0.000
	I combined different ways	12%	9%	10%	20%	10%	0.124
Gender	Women	45%	55%	39%	32%	62%	0.420
Age	Between 19-40	49%	58%	46%	39%	59%	0.146
	Between 40-65	51%	42%	54%	61%	41%	0.089
Familiarity	Non-familiar with all presented products	6%	3%	15%	4%	0%	0.041
	Familiar with at least half presented product	91%	97%	85%	96%	87%	0.380
	Familiar with all presented products	3%	0%	0%	0%	13%	0.000

3.3.2 Relationship between perceived complexity and intrinsic factors

As described in the literature, sensory complexity can be related to the richness of perceived sensations and how they evolve during the sensory experience. Sensory data revealed that products were characterized by different sensory experiences. To transcribe and quantify the impact of the perceived experience on the perception of complexity, different intrinsic factors were therefore studied. First, we looked at the influence of three design parameters: (i) the presence of a bottom layer, (ii) the presence of an unusual flavor and (iii) the presence of chunks (Tableau 28). Second, we examined the influence of three sensory criteria: (A) the number of perceived sensations (i.e. number of attributes with average >1), (B) the change of cluster between different spoonfuls and (C) the number of attributes with a significant difference between each spoonful (Tableau 28).

First, we observed that a bi-layered product increased perceived sensory complexity for consumers in Groups 1 and 4. The presence of an unusual flavor and its perception also seemed to influence perceived complexity for Groups 1 and 2. The effect of soft or hard textures combined with different types of chunks was less consensual, and the relationship was less clear. Second, regarding sensory criteria, the number of perceived sensations was large for consumers in Groups 1 and 4 in the development of their perceived complexity. Criteria (B) and (C) were related to the perception of a sensory evolution during consumption. Thus Groups 1 linked sensory complexity to this temporality. Surprisingly, product 1-0-0, expected to have a low sensory complexity, was perceived as rather complex for consumers in Group 2.

Unfortunately, as consumers in Group 3 did not globally perceive any difference between products for sensory complexity, the influence of intrinsic factors could not be evaluated for this group.

Tableau 28. Summary of different intrinsic parameters for each product. Perceived complexity mean scores for each group and for the whole study population

Desserts	Product Parameters			Sensory Findings			Perceived Complexity				
	(1) Bottom Layer	(2) Unusual Flavor	(3) Chunks	(A) Number of perceived sensations (i.e. number of attributes with average >1)	(B) Change of cluster between different spoonfuls	(C) Number of attributes with significant difference between each spoonful (P<0.05)	Group 1	Group 2	Group 3	Group 4	Total
1-0-0	NO	NO	NO	2	NO	1	5.4 ^c	7.8 ^a	8.5 ^a	3.9 ^{bc}	6.7 ^a
2-0-0	YES	NO	NO	4	NO	5	6.5 ^{bc}	6.2 ^b	9.1 ^a	3.2 ^c	6.5 ^a
2-1-0	YES	YES	NO	7	YES	6	7.7 ^b	6.3 ^b	9.2 ^a	3.3 ^c	6.9 ^a
2-0-1	YES	NO	YES	9	YES	7	9.2 ^a	6.0 ^b	9.6 ^a	5.8 ^a	7.6 ^a
2-1-1	YES	YES	YES	10	YES	9	7.9 ^b	7.3 ^{ab}	9.5 ^a	3.7 ^c	7.3 ^a
3-0-0	YES	NO	NO	6	NO	6	8.6 ^{ab}	5.7 ^{bc}	8.8 ^a	4.8 ^{ab}	6.9 ^a
3-1-1	YES	YES	YES	9	YES	8	9.4 ^a	4.2 ^c	8.9 ^a	4.6 ^b	6.8 ^a

4. Discussion

Here we investigated the perception of sensory complexity and its influence on preferences. We also explored different intrinsic and extrinsic determinants of sensory complexity. To our knowledge, this is the first time that sensory complexity has been studied with a focus on both the texture and flavor dimensions of semi-solid foods. To date, the perceived complexity of food or beverages had been investigated through either its visual dimensions (Mielby, Kildegaard, Gabrielsen, Edelenbos, & Thybo, 2012), textural dimensions (Larsen, Tang, Ferguson, & James, 2016; Marcano, Morales, Vele-Ruiz, & Fiszman, 2015; Tang, Larsen, Ferguson, & James, 2017, 2016) or flavor dimensions (Meillon et al., 2010) taken separately. There are studies that have co-investigated both mouthfeel and flavor, but only in liquids (Parr, Mouret, Blackmore, Pelquest-Hunt, & Urdapilleta, 2011; Pierguidi, Spinelli, Dinnella, Prescott, & Monteleone, 2019).

4.1 The perception of sensory complexity

We compared the perception of sensory complexity in seven novel gourmet dairy desserts by a panel of 145 French consumers. First, we observed that perceptions of complexity differed between consumers, as noted in previous literature (Köster & Mojet, 2007b, 2007a). Complexity scores sometimes ranged from 0 to 10 (out of 10) for the same product. These marked differences in perception confirm the collative nature of sensory complexity. To address this point, we reanalyzed the data after clustering on complexity perception patterns, which emerged four clusters of consumers.

4.1.1 Consumers in Groups 1, 2 and 4

Three groups of consumers (Groups 1, 2 and 4) perceived products as significantly differing in sensory complexity. Products perceived as the most or least complex differed between groups. Even so, consumers of these three groups reached a consensus on the high complexity level of the 2-0-1 dessert. This dessert comprises a caramel coulis with hard hazelnut chunks. It was the only dessert with hard chunks—all the other desserts had soft chunks. This points to perception of hard textures as an important parameter shaping the perceived complexity of these products for a large majority of consumers. Interestingly, Tang et al. (2017) also found that perceived textural complexity was maximized with hard, crunchy textures compared to gummy, sticky textures. This point also emerges from criteria chosen by consumers to describe their perception of sensory complexity: texture appeared relevant for Groups 1 and 4. However, complexity is also related to the number of sensations perceived. This effect has been widely observed and discussed in the literature (Bitnes, Ueland, Møller, & Martens, 2009; Lévy, MacRae, & Köster, 2006; Meillon et al., 2010; Porcherot & Issanchou, 1998; Reverdy, Schlich, Köster, Ginon, & Lange, 2010; Ruijschop, Boelrijk, Burgering, de

Graaf, & Westerberp-Plantenga, 2009; Weijzen, Zandstra, Alfieri, & de Graaf, 2008). This observation underlines the multidimensionality of sensory complexity and means that relevant research should appropriately consider all these different dimensions.

Group 1 attached more sensory complexity to the evolution of sensations during consumption, whereas Group 2 also linked complexity to the perception of unknown or unexpected/surprising sensations. As some products were unfamiliar for consumers (and significantly more so for consumers in Group 2; Table 5), they may have presented unexpected/surprising sensations through their novelty. This emotional aspect of sensory complexity is extensively discussed by Reverdy, Schlich, Köster, Ginon, & Lange (2010) who measured complexity as the level of surprise elicited by the product. However, for all three of these groups, product appearance seemed to be less important for consumers when they evaluated sensory complexity. Surprisingly, Group 2 perceived product 1-0-0 as the most complex even though it was an unflavored sweetened dessert with only one layer. This leaves question over our measure of sensory complexity, consumer perception of the scale, and the impact of the order in which the products were presented.

4.1.2 Consumers in Group 3

Consumers in Group 3 did not perceive any difference between products in terms of sensory complexity. We could posit that the product set in this experiment did not cover a sufficiently wide range of complexity for these consumers to express a U-shaped pattern.

Note that a majority of consumers in Group 3 reported that they stirred the products before eating them, and so their eating style probably changed certain sensory properties (especially texture and flavor contrasts) that influence complexity perception. Finally, we cannot exclude a potential ceiling effect in their evaluation of sensory complexity and liking. Both the complexity and liking scores from Group-3 consumers ranged between 6 and 10.

4.2 Extrinsic and intrinsic determinants of sensory complexity

Regarding intrinsic determinants, we observed that bi-layering products increased their perceived complexity for half of the consumers. Results also confirmed the importance of dynamic evaluation to properly understand sensory complexity. Our findings showed that sensory complexity is influenced by number of sensations and their temporal evolution. We also showed, for the first time, that texture and flavor sensations can have an effect on perceived complexity, although the respective importance of these sensory modalities remains to be assessed. Interestingly, consumers in Group 2 declared that product 1-0-0 was the most complex even though it was an unflavored sweetened dessert with only one layer. Thus, complexity also seems to be related to subtle sensations (dairy notes for example) that our sensory characterization was not designed to capture. A statistical modeling of perceived complexity would be interesting. For example, a preference

mapping-like approach applied to complexity as a response could be envisaged. However, this would lead to further developments and questions (such as what type of spoonfuls to take into account in the analysis?) that go beyond the scope of this article.

This study also investigated a number of extrinsic factors. We found that consumer eating styles can affect their perception of complexity. In Group 3 (i.e. the group who did not perceive any complexity differences between products), 61% of consumers ate their dessert after mixing it first, whereas most consumers in the other groups ate the product in two-layer spoonfuls. This finding underlines how sensory complexity develops through a full eating or drinking experience (Spence, 2018). It is possible that the eating pattern used by consumers when they ate the product influenced their perception of complexity. A sequence of identical spoonfuls rather than different ones may thus impact the perceived sensory complexity of the experience. Another important factor studied in this work was the impact of familiarity (as estimated from frequency of consumption) on perceptions of complexity. We observed that consumers in Group 2 (who gave higher complexity scores) were significantly less familiar with the product category under study whereas consumers in Group 4 (who gave lower complexity scores) were significantly more familiar. Familiarity thus appeared to influence the perception of sensory complexity, which is in line with findings from previous studies (Köster & Mojet, 2007a; Pierguidi et al., 2019; Sulmont-Rossé, Chabanet, Issanchou, & Köster, 2008). Finally, we did not observe any impact of age or gender on perception of complexity for these types of product, which is also in line with previous observations on visual stimuli (Mielby et al., 2012).

4.3 The influence of sensory complexity on preferences

One objective of this study was to investigate the influence of sensory complexity on preferences. As stated before, the literature has not reached a consensus on the applicability of Berlyne's theory in the field of food and beverages (Palczak, Blumenthal, Rogeaux, et al., 2019). Indeed, a number of studies have failed to find the inverted U-curve relationship between liking and complexity (Kildegaard, A., Gabrielsen, P., & Thybo, 2011; Mielby et al., 2012; Olabi et al., 2015; Porcherot & Issanchou, 1998; Reverdy et al., 2010; Soerensen, Waehrens, & Byrne, 2015; Weijzen et al., 2008). In the present study, only consumers in group 1 responded in a way that would fit Berlyne's model (Berlyne, 1971) and, at first glance, the relationships observed for Groups 2, 3 and 4 clearly do not fit in the theory. However, for Groups 2 and 3, the results obtained did fit with part of the U-curve (i.e. either the ascending part of the inverted U for Group 2 or the top of the curve for Group 3; Figure 41).

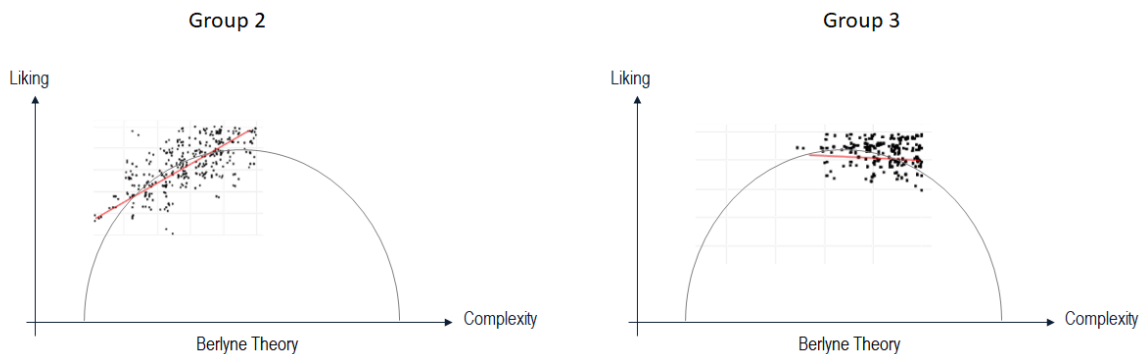


Figure 41. Hypothetical explanation of group 2 and group 3 results in the frame of Berlyne Theory. Group results are superimposed on a virtual inverted U-curve.

Naturally, an obvious argument would be that product properties other than complexity may have influenced the consumers' hedonic responses. For example, even though all participants declared liking all the flavors tested at recruitment, the consumers in Group 4 may have rejected coffee-based desserts not because of a lack (or excess) of complexity but because they dislike the coffee flavor. Furthermore, psychophysical, ecological and other collative properties known to potentially affect the arousal potential of products may have also played a role in consumers' judgments here. For instance, coffee and banana are fairly unusual flavors to find in yogurts in France, and so we would expect these flavors to have surprised some of the participants.

In a recent study on cocktails, Pierguidi et al. (2019) also found some similarity with Berlyne's model for one of their two clusters but no clear relationship for their second cluster, thus prompting them to look for other possible explanations for their observed mismatch with Berlyne's model. They underlined perception of novelty as a key collative property shaping the influence of complexity on preference, and they rightly asserted that food and beverages offer narrower scope for clearly differentiating novelty across products and that differentiation probably entails more than just visual stimuli. Here, although we also assessed the concept of novelty through familiarity (see Tuorila, Lähteenmäki, Pohjalainen, & Lotti, 2001), we measured novelty at product-category level and not product level, which makes it impossible to estimate the influence of perceived novelty here. Interestingly, Pierguidi et al. (2019) also stated that product properties other than complexity may have influenced consumers' hedonic responses: they reported that the bitter sensation (a sensation that is often rejected) may have impacted preferences rather than perceived complexity.

Finally, it is also possible that the products tested did not bear all the features of sensory complexity. Indeed, complexity can be related to dimensions not explored here, such as appearance (Mielby et al., 2012) or odor (Jellinek & Köster, 1979, 1983).

4.4 Methodological aspects

4.4.1 Measurement of sensory complexity

Two of the groups that clustered here raise questions over our measurement of sensory complexity. First, consumers in Group 3 reported that all the products had the same level of complexity. We can therefore question the sequential monadic evaluation of sensory complexity. All consumers were asked to evaluate product 1-0-0 in first position, meaning that each consumer evaluated complexity for the first time with product 1-0-0. When we evaluate complexity, we do it with respect to a product category or an individually-fixed frame of reference (Edmonds, 1995). In the context of a test, the first product proposed may thus impact this frame of reference. However, if the consumer's idea of the reference frame or product category does not fit the subsequent products, then compared levels of complexity obtained may be meaningless. One solution could be to provide information about the product set before the test to let consumers make better reference choices. In this line of thinking, we chose to analyze complexity scores without standardization here, but another possible approach would be to analyze data in a relative way. However, the implications of such methodological choices remain to be explored.

For this study, we chose to ask participants to evaluate their perceived level of complexity for each product just after their liking. Naturally, this could have resulted in a potential halo effect or a consistency bias.

4.4.2 Adaptation of the Sequential Profiling

From a methodological standpoint, the adaptation of the sequential profiling proved very useful (Palczak et al., 2019). We increased the number of attributes compared to the original study (Methven et al., 2010) based on recommendations given by Withers, Barnagaud, Mehring, Ferris & Thomson (2016). This provided a deeper sensory characterization and helped to better capture and understand sensory complexity. For the development of the eating pattern, the addition of a self-reported question during the consumer test helped us to define the pattern to use for the sequential profiling.

5. Conclusion

Our findings bring a deeper understanding of the notion of complexity and its influence on consumer preferences. This study also confirms that perceived complexity is a multidimensional and multimodal construct and a collative and hedonic property. Our results underscore that complexity should be analyzed at the individual level or after clustering. Our findings also prompt us to stress that extrinsic factors such as familiarity and eating style can have an impact on the perception of sensory complexity, and thus warrant further research.

A setenis

Cette étude a permis d'en apprendre davantage sur l'influence de la complexité sensorielle sur les préférences des consommateurs. En effet nous avons pu souligner que pour les 3 /4 des consommateurs interrogés, la Théorie de Berlyne semble s'appliquer.

Une fois de plus, nos résultats ont démontré le caractère collatif et mettent en avant plusieurs critères d'évaluation de la complexité. La perception de plusieurs sensations apparait comme un critère d'évaluation commun et important pour les quatre groupes de consommateurs étudiés. Ensuite, en fonction des groupes de consommateurs, la texture, l'évolution des sensations perçues, la perception de sensations surprenantes ou inconnues apparaissent comme des critères d'évaluation plus ou moins importants.

Cette étude a également mis en avant que le comportement de consommation influence la perception de complexité. En effet, il apparait que les consommateurs mélangeurs ne perçoivent pas (ou très peu) de différence de complexité sensorielle entre les produits ; alors que les consommateurs réalisant des cuillères avec plus ou moins les deux couches, perçoivent des différences de complexité sensorielle.

Enfin, grâce à une caractérisation sensorielle réalisée à l'aide de la méthode du Profil Séquentiel adapté, nous avons pu mettre en avant des dimensions sensorielles influençant la perception de complexité. Pour la première fois, nous avons pu mettre en avant que la perception de sensations de texture et des sensations aromatiques simultanément permettaient d'augmenter la perception de complexité sensorielle. Cela confirme donc le caractère multimodal de la complexité sensorielle. Nous avons également remarqué que les dimensions sensorielles influençant la perception de complexité différaient entre les groupes de consommateurs observés.

D'un point de vue méthodologique, cette étude remet en cause la mesure ainsi que l'analyse de la complexité perçue. Par conséquent, ce point sera rediscuté dans la partie *Discussion*.

*Discussion générale
et perspectives*

Cette thèse avait pour ambition de mieux comprendre la complexité sensorielle en s'intéressant à sa définition, sa perception, ses déterminants sensoriels, sa mise en œuvre ainsi que son influence sur les préférences des consommateurs. Pour ce faire, nous avons choisi d'aborder ce sujet à travers différents angles de vue et plusieurs méthodologies issues de diverses disciplines.

Le Chapitre 1 de ce manuscrit expose le contexte ainsi que les travaux antérieurs qui nous ont amené à mettre en place ce travail de recherche. Trois axes ont été abordés dans ce chapitre : (1) l'utilisation des caractéristiques sensorielles pour comprendre les préférences, (2) La complexité, une dimension au caractère hédonique, collatif, multimodal et polysémique, et (3) la complexité sensorielle et son influence sur les réponses hédoniques dans l'alimentation et les boissons. Cette dernière partie a conduit à la rédaction d'un article de revue. En effet, une part importante de la littérature sur la complexité se base sur la Théorie de Berlyne (1971) où l'appréciation évolue selon la perception de complexité en suivant une courbe en U-inversé. Or, peu d'auteurs ont montré l'application de cette Théorie dans le domaine de l'alimentation et des boissons. Ainsi, cet article remet en cause l'application directe de cette théorie dans notre domaine d'étude et propose plusieurs suggestions pratiques à considérer lors de futures recherches sur la complexité sensorielle.

Le Chapitre 2 présente une étude réalisée avec dix experts culinaires ayant chacun conçu trois déclinaisons d'une recette variant en complexité (faible, moyenne et forte). Chaque expert a ensuite été interrogé afin de comprendre ses choix de conception permettant de mettre en œuvre de la complexité sensorielle. Les produits réalisés ont été décrit sensoriellement et évalués par des consommateurs afin de mettre en perspective les choix de conception et de vérifier que la complexité souhaitée était également perçue. Cette étude a ainsi permis de déterminer quatre principes de conception de la complexité sensorielle : associer différents goûts et aromatisations, contraster les textures, créer une expérience sensorielle temporelle et surprendre le consommateur.

Le Chapitre 3 propose une adaptation de la méthodologie sensorielle du Profil Séquentiel développée par Methven et al., 2010. Cette adaptation permet la caractérisation d'une expérience sensorielle complète (i.e. un pot entier). Elle se base sur le développement d'un protocole d'évaluation à partir d'observations comportementales sur des desserts bicouches au chocolat. Grâce à cette nouvelle méthodologie, il est possible de déterminer l'évolution d'attributs sensoriels clés au cours de la consommation d'une portion. Ce chapitre a également permis l'identification de certaines caractéristiques sensorielles influençant la perception de complexité.

Le Chapitre 4 est centré autour de l'application de la Théorie de Berlyne sur des desserts frais lactés. Sept desserts frais lactés ont été évalués par des consommateurs lors d'une étude quantitative et ont été caractérisés par un panel sensoriel en utilisant la méthodologie développée en Chapitre 3. Les résultats révèlent la Théorie de Berlyne ne s'applique que pour la moitié des consommateurs interrogés. Ce chapitre met également en perspective plusieurs caractéristiques consommateurs telles que le comportement de consommation, la familiarité et les critères utilisés pour évaluer la complexité expliquant cette divergence de résultats. Enfin, les profils sensoriels obtenus ont permis

d'enrichir notre connaissance sur les caractéristiques sensorielles influençant la perception de complexité.

Cette dernière partie a pour objectif de présenter et discuter les différentes réponses que nous pouvons apporter aux questions soulevées. Nous verrons également les limites ainsi que les points non abordés dans ce travail qui nécessiteraient davantage de recherche.

1. Retour sur les questions de recherche et les enjeux de la thèse

1.1 Le caractère polysémique de la complexité

A travers cette thèse nous souhaitons répondre à la question ① Comment définir la notion de complexité sensorielle ? Nos résultats ont mis en avant le manque de structure et de rigueur dans la manière dont la complexité est étudiée, abordée et définie dans la littérature. Pour clarifier la définition de la complexité trois types de complexité ont été spécifiés : la complexité sensorielle, la complexité cognitive et la complexité émotionnelle. Ces trois complexités se réfèrent à une perception et sont à dissocier de la complexité non perçue, souvent non liée. En effet, nos résultats consolident l'importance de dissocier la complexité perçue de la complexité physique déjà soulignée dans la littérature. (Jellinek & Köster, 1979; Romagny, Coureaud, & Thomas-Danguin, 2018).

L'ensemble de nos expérimentations nous permettent aujourd'hui de donner une définition à ces quatre types de complexité (Figure 42).

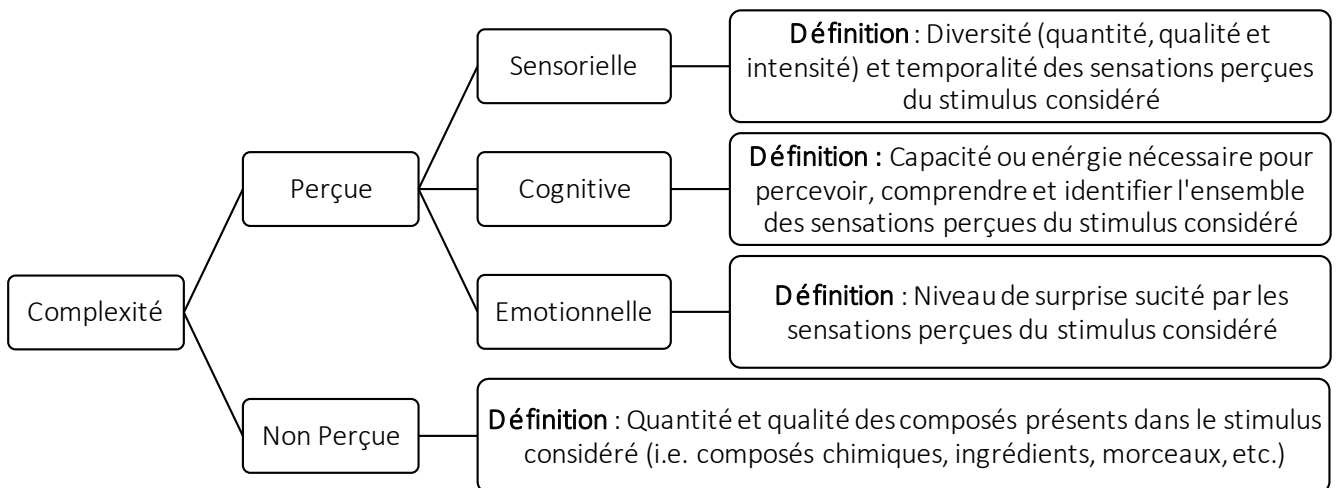


Figure 42. Définitions des différents types de complexité observés pendant cette thèse

Par ailleurs, il est important de souligner que pour certains consommateurs la complexité perçue peut être une combinaison de ces différents types de complexité. En effet, nos résultats révèlent que certaines personnes évaluent la complexité de manière sensorielle, cognitive et émotionnelle : « pour moi un produit complexe, c'est un produit où on perçoit plusieurs sensations, parfois des sensations inattendues et parfois des sensations que l'on ne reconnaît pas ». Ainsi, il semble difficile de pouvoir dissocier entièrement ces trois types de complexité perçue.

1.2 Le caractère collatif de la complexité

Les expérimentations menées dans cette thèse ont remis en exergue l'importance de considérer le caractère collatif de la complexité. Déterminé par Berlyne (1971) et souvent omis dans la littérature, le caractère collatif rend l'étude de la complexité très délicate. En effet il caractérise les variables qui dépendent à la fois du stimulus perçu mais également de celui qui perçoit le stimulus et notamment de ses expériences passées. Appréhendant ce point, la perception de complexité pour un stimuli donné peut donc ne pas être la même d'un individu à l'autre. C'est effectivement ce que nous avons pu observer à travers nos expérimentations : la grande variabilité des notes données à la perception de complexité en est une illustration. En effet, comme le montre la Figure 43, les notes de complexité attribuées à un même produit peuvent varier de 0 à 10. Nos résultats sont donc en accord avec les conclusions faites par d'autres auteurs sur ce point (Köster & Mojet, 2007; Lévy, MacRae, & Köster, 2006; Pierguidi, Spinelli, Dinnella, Prescott, & Monteleone, 2019). Ils confirment également que sans une analyse à l'échelle individuelle ou après regroupement, l'analyse de scores de complexité peut conduire à des interprétations erronées car trop réductrices.

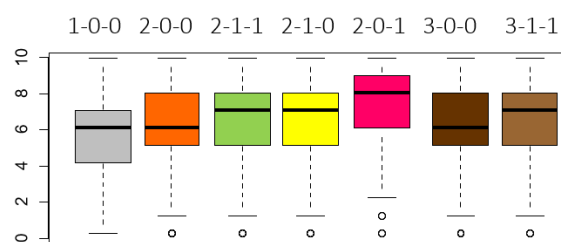


Figure 43. Boîtes à moustache réalisées sur les scores de complexité attribués aux produits utilisés dans le Chapitre 4 par l'ensemble des consommateurs interrogés (N=145)

1.3 Le caractère multimodal de la complexité

Au début de cette thèse nous souhaitions répondre à la question : ② Quelles sont les caractéristiques sensorielles influençant la perception de complexité ? Pour répondre au mieux à cette question, nous avons fait le choix de nous restreindre à la caractérisation des dimensions de texture, de saveurs et d'arôme. De plus nous avons décidé d'aborder ces dimensions de manière

dynamique et holistique. L'ensemble des caractéristiques sensorielles observées dans nos expérimentations sont regroupées dans le Tableau 29.

Tableau 29. Suite à nos travaux, caractéristiques sensorielles identifiées comme susceptibles d'influencer la perception de complexité sensorielle

Notions sensorielles principales	Caractéristiques sensorielles susceptibles d'augmenter la perception de complexité	
	Évaluées à partir des caractérisations sensorielles obtenues	Évaluées par des consommateurs
Quantité et qualité des sensations aromatiques perçue	<ul style="list-style-type: none"> — Diminuer le nombre de notes principales, et augmenter le nombre de notes secondaires et subtiles — Augmenter le nombre d'attributs saillants dans le produit 	<ul style="list-style-type: none"> — Augmenter le nombre de sensations aromatiques perçues — Diminuer l'intensité de la sensation principale — Avoir des sensations aromatiques surprenantes, inattendues ou inconnues
Quantité et qualité des textures perçues	<ul style="list-style-type: none"> — Contraster les textures en ayant des sensations de textures molles et des textures dures 	<ul style="list-style-type: none"> — Augmenter le nombre de textures perçues
Temporalité des sensations perçues	<ul style="list-style-type: none"> — Avoir une évolution des sensations perçues au sein des cuillères avec des notes de tête, de cœur et de fond — Avoir une évolution des sensations perçues entre les différentes cuillères du produit — Augmenter la fluctuation de l'attribut dominant dans le produit 	<ul style="list-style-type: none"> — Avoir une évolution des sensations perçues dans le produit

Les caractéristiques sensorielles observées sont cohérentes avec ce qui a pu être soulevé dans la littérature. Cependant, pour la première fois trois modalités sensorielles ont pu être mises en avant en même temps et sur des produits différents. Nous avons également confirmé les travaux de Meillon et al. (2010), Paulsen et al. (2013) et Tang et al. (2016) qui ont relevé l'importance de la temporalité des sensations dans la perception de complexité. Cependant leurs études ne mettent en avant que la temporalité au sein d'une bouchée ou d'une gorgée. Nos travaux soulignent également l'importance de la temporalité des sensations au sein du produit entier sur la perception de complexité sensorielle.

Par ailleurs, nos résultats attestent que la présence de sensations subtiles au détriment de sensations dominantes augmente la perception de complexité. Ainsi, d'un point de vue méthodologique, ce résultat montre que l'utilisation de la DTS n'est pas appropriée dans l'évaluation de la complexité.

En effet, la méthodologie DTS permet de connaître l'évolution des sensations dominantes au cours du temps, et ne renseigne donc pas sur la présence de sensations subtiles (Varela et al., 2017). Ce résultat montre que la DTS utilisée dans les études de Meillon et al. (2010), Paulsen et al. (2013) et Tang et al. (2016) ne permet qu'une mesure partielle de la complexité perçue.

1.4 Le caractère hédonique de la complexité

L'un des objectifs de cette thèse était également d'examiner l'application de la théorie de Berlyne dans le domaine de l'alimentation et plus particulièrement sur des desserts frais lactés. Cet objectif nous a amené à répondre à la question ③ Quelle est l'influence de la complexité sensorielle perçue sur les préférences des consommateurs ? Nos résultats ont confirmé l'application de la théorie de Berlyne (1971) pour des desserts frais lactés seulement pour une partie des consommateurs interrogés. En effet, pour la moitié des consommateurs interrogés l'influence de la complexité ne suit pas une courbe en U-inversé. Une étude très récente a également mis en avant des résultats similaires sur des cocktails variant en complexité gustative et aromatique perçue (Pierguidi et al., 2019). Nous ne sommes donc pas en mesure d'affirmer ou d'infirmer cette théorie puisse complètement s'appliquer au domaine de l'alimentaire et des boissons, en particulier si l'on considère la complexité gustative, aromatique ou de texture. En revanche, dans le cas où l'on considère uniquement une complexité visuelle, le modèle de Berlyne semble expliquer les préférences (Mielby, Kildegaard, Gabrielsen, Edelenbos, & Thybo, 2012).

Par ailleurs, nos études ont permis de donner plusieurs explications possibles à ce déséquilibre entre les résultats observés et le modèle développé par Berlyne (1971). En effet, le modèle de Berlyne est fondé sur l'évaluation de stimuli visuel où la perception de nouveauté est un facteur important dans la perception de complexité (Berlyne, 1971). Or, la nouveauté d'un stimuli visuel est défini comme « inversement lié (1) à la fréquence de confrontation à des stimuli proches, (2) au temps de confrontation avec stimuli proches et (3) à la similarité entre le stimulus considéré et les stimuli confrontés dans le passé (Berlyne, 1960). Or selon Tuorila, Lähteenmäki, Pohjalainen, & Lotti (2001) la familiarité d'un produit alimentaire intègre également des aspects liés à la reconnaissance. En effet, cette reconnaissance peut être liée à la reconnaissance du produit (« j'en ai déjà entendu parler ») mais également à la reconnaissance de l'expérience (« j'ai déjà goûté »). Cette spécificité des stimuli alimentaires pourrait expliquer pourquoi la théorie de Berlyne ne peut pas s'appliquer aussi facilement à des stimuli consommés. En effet, il est important de souligner que la perception visuelle est entraînée par des mécanismes de perception plus simples qui sont plus facilement dissociables des autres modalités (i.e. perceptions gustative, olfactive ou aromatique). De plus, la perception visuelle est également beaucoup moins dépendante de l'apprentissage et de la mémoire (Köster, Møller, & Mojet, 2014). Par conséquent, la perception visuelle montre une variété individuelle beaucoup moins importante que les autres modalités. Par ailleurs, d'autres éléments de réponse ont également été remis en cause dans nos études et observé dans la littérature tels que la mesure de la complexité (Lévy et al., 2006) et le choix de l'espace produit (Giacalone, Duerlund,

Bøegh-Petersen, Bredie, & Frøst, 2014). Nous reviendrons sur ces deux points ultérieurement à propos des choix stratégiques et des approches méthodologiques de la thèse.

1.5 Conclusion

A l'issue de ce travail, deux questions restent encore difficiles à satisfaire, voici cependant quelques éléments de réponse :

- Un produit sans complexité est-il forcément un mauvais produit ? Doit-il y avoir de la complexité dans tous les produits ?

Tout d'abord, les experts culinaires nous ont amené à comprendre que chefs et industriels n'ont pas les mêmes contraintes vis-à-vis de l'innovation. La marge de manœuvre d'un industriel est beaucoup plus réduite que celle d'un chef pâtissier ou d'un chef cuisinier. En effet, les attentes des consommateurs face à un dessert industriel sont souvent différentes par rapport à celles d'un dessert dans un restaurant étoilé. Comme expliqué par Spence (2018) nous allons dans des restaurants pour vivre des expériences et non uniquement parce que nous avons faim. Ainsi, pour plaire, un chef se doit de prendre des risques, il doit montrer ses compétences artistiques et techniques en proposant des choses différentes et nouvelles (McBride & Flore, 2019). Les chefs sont souvent considérés comme des initiateurs : ils proposent des choses que les gens n'aiment pas encore, mettent en œuvre des associations surprenantes et inattendues et travaillent des produits peu connus. En effet, nos recherches ont mis en avant que l'appréciation n'est pas l'objectif premier d'un expert culinaire. Qu'ils soient cuisiniers ou pâtissiers, leur objectif est de créer une expérience sensorielle en utilisant des contrastes de textures, en travaillant l'équilibre des sensations et en surprenant le consommateur. Un autre point surprenant a été d'observer que les experts interrogés goûtent très peu leur produit fini : ils ne font que le « penser » en fonction de l'expérience sensorielle qu'ils souhaitent créer. Cette liberté de création leur permet ainsi de mettre en œuvre des produits où la complexité est souvent représentée. En revanche, un industriel ne possède pas autant de flexibilité dans ses innovations. En effet, un industriel est confronté à une quantité de clients/consommateurs beaucoup plus importante, il doit donc fournir des produits plus consensuels. Ainsi, intégrer de la complexité dans un produit industriel est plus périlleux : la cible à satisfaire est plus importante, la liberté de création est plus réduite et les contraintes techniques sont plus importantes. Par exemple, les produits industriels sont soumis à des contraintes de transport et de conservation limitant les possibilités de création. Par conséquent, l'intégration de complexité dans un produit industriel se fera différemment et de manière plus subtile et raisonnée.

- Comment satisfaire les consommateurs sachant que la complexité est une propriété collative ?

Premièrement, comme nous avons pu le voir, chaque personne évalue et perçoit la complexité de manière différente. Ainsi trouver le niveau idéal de complexité d'un produit alimentaire, semble être utopique. Or, nous avons pu voir qu'il était possible de regrouper les consommateurs en fonction de leur perception de la complexité. De plus, nous avons également montré qu'au sein d'un groupe où les perceptions de complexité sont identiques, l'influence de la complexité sur les préférences est relativement semblable d'un individu à l'autre. Ainsi, appréciant ce point, il semble donc possible, à l'échelle d'un sous-groupe de consommateurs d'identifier le niveau de complexité idéal, maximisant les préférences.

Deuxièmement, comme décrit précédemment, le caractère collatif rend également la perception de complexité dynamique (Dember & Earl, 1957). En effet, la perception de complexité varie au cours du temps dû aux expositions répétées avec le produit. Ainsi il est possible que la perception de complexité pour un produit soit amenée à changer entre la première exposition et les expositions suivantes. Or, il est évident que l'ensemble des consommateurs ne sera pas confronté au même moment et à la même fréquence au produit considéré. Il est donc possible que leurs perceptions de complexité n'évoluent pas de la même manière. Considérant ce dernier point, la maîtrise du niveau idéal de complexité semble donc difficile. Dans leur ouvrage, Köster & Mojet (2007) proposent cependant de travailler la complexité de manière très subtile afin de minimiser l'influence des expositions. En effet, ils suggèrent qu'« ajouter des notes bien connues et appréciées à un produit, mais en quantité tellement faibles qu'elles ne sont pas perceptibles en elles-mêmes permet de ne pas changer le caractère de base du produit et de donc de le rendre simplement plus intrigant ». En d'autres termes ils soulignent l'importance d'apporter régulièrement de petites modifications dans les produits alimentaires leur permettant de toujours stimuler les consommateurs.

2. Les choix stratégiques et les approches méthodologiques de la thèse

Dans cette thèse, nous avons choisi d'étudier le concept de complexité sensorielle à travers un prisme physico-chimique (voir technique), sensoriel et humain. Pour ce faire, un espace produit a été défini (les desserts lactés frais) et deux enjeux techniques ont été soulevés :

- Identifier les leviers techniques (ingrédients et procédés) permettant de concevoir de la complexité sensorielle
- Proposer une méthodologie descriptive permettant de caractériser une expérience sensorielle amenant une perception de complexité

2.1 Le choix des espaces produits

La majorité des expérimentations réalisées dans cette thèse ont été faites sur des desserts frais lactés. Cependant, nous avons également pris le parti de réaliser une expérience (Chapitre 2) sur un espace produit plus diversifié en considérant des verrines salées et sucrées. Choisir cet espace produit varié nous a permis d'obtenir des principes de mise en œuvre de la complexité applicables à de nombreux produits alimentaires et de donner des recommandations plus riches.

Cependant pour de futures recherches, certaines remarques sur le choix de l'espace produit peuvent être considérées. Tout d'abord, nos résultats ainsi que des études antérieures (Giacalone et al., 2014; Jellinek & Köster, 1983; Lévy et al., 2006; Meillon et al., 2010; Porcherot & Issanchou, 1998; Reverdy, Schlich, Köster, Ginon, & Lange, 2010; Stolzenbach, Bredie, Christensen, & Byrne, 2016; Sulmont-Rossé, Chabanet, Issanchou, & Köster, 2008) ont signalé une relation linéaire positive ou négative entre la complexité perçue et les préférences. Ces résultats nous permettent d'émettre l'hypothèse que la gamme de produits choisis ne couvre pas toujours toute l'échelle de complexité. En effet, dans certaines études il est probable que la sélection de produits uniquement peu complexes ou uniquement très complexes n'a pas permis de mettre en avant le seuil de complexité attendu dans la Théorie de Berlyne. Ainsi, seule une partie de la courbe en U-inversé était observable. Par conséquent choisir suffisamment de produits et des produits permettant de couvrir un spectre de complexité assez large est primordial. Cependant il est important que ce spectre de complexité soit continu et que les produits ne soient pas trop différents. En effet, comme nous avons pu le voir, il est nécessaire que les produits considérés appartiennent à une même catégorie. Par conséquent trop de différences entre les produits pourrait conduire à la création de plusieurs catégories de produits et pourrait compromettre la pertinence de l'étude. Afin de créer cet espace produit, plusieurs approches seraient envisageables. Par exemple, une approche du type ingénierie sensorielle aurait pu se prêter à une telle étude (voir Abidh (2017)). Pour cela, nous aurions pu envisager la mise en place d'un plan d'expérience sensoriel. Connaître les dimensions sensorielles influençant la perception de complexité est donc clé. Or, la connaissance sur le poids des dimensions sensorielles et leurs interactions dans la formation de complexité sensorielle n'est pas encore établie. De plus, d'un point de vue technique, mettre en œuvre un tel plan d'expérience est également délicat. En effet, cela suggère de connaître le lien entre la formulation et les propriétés sensorielles. Cependant davantage de recherche serait nécessaire ici car beaucoup de verrous scientifiques existent toujours tels que la non linéarité du lien {formulation – propriétés sensorielles}, les interactions entre les propriétés sensorielles, etc. Enfin, d'un point de vue industriel la réalisation de tels prototypes est très ambitieuse et difficile. Une autre possibilité aurait pu être de ne faire varier les produits que sur une modalité à la fois (l'intensité chocolat par exemple). Or rien ne prouve que des modifications sensorielles aussi subtiles permettent de créer des différences de complexité perçue. Ainsi, la mise en œuvre d'un tel espace produit n'est pas si simple et nécessiterait davantage de recherches.

De plus, un paramètre important de l'espace produits est le nombre de produits à considérer. Nos travaux montrent qu'il est important qu'il soit suffisamment élevé. En effet, dans les études que nous

avons mené en Chapitre 3 et 4, nous avons 7 produits différents. Ce nombre de produits nous a permis de pouvoir estimer le modèle quadratique suggéré par Berlyne. Par ailleurs, avoir un faible nombre de produits n'aurait sans doute pas permis d'identifier différents groupes de consommateurs sur leur perception de complexité, et n'aurait pas permis de mettre en avant autant de paramètres techniques et sensoriels susceptibles d'influencer la perception de complexité sensorielle.

2.2 Le choix de collaborer avec des experts culinaires

Afin de nous aider dans la mise en place de nos espaces produits, nous avons choisi de travailler avec des experts culinaires. En effet, la littérature était très vague sur les leviers techniques permettant de mettre en œuvre de la complexité sensorielle dans un produit alimentaire. Ce choix stratégique s'est avéré très pertinent et surprenant sur la qualité de l'expertise récoltée. Encore peu d'études sont réalisées entre le domaine scientifique et ce milieu plus traditionnel mais déjà quelques auteurs ont souligné l'avantage de telles collaborations (Bom Frøst, 2018; Mielby & Frøst, 2010).

Cependant, il nous paraît important d'insister sur la difficulté que nous avons eu à mettre en place une telle étude (Chapitre 2). En effet, notre objectif était de mettre en avant les leviers techniques permettant de mettre en œuvre de la complexité sensorielle. Pour cela, nous avons choisi de réaliser plusieurs interviews avec des experts de différents domaines (œnologues, pâtisseries, chocolatiers, chefs cuisiniers, caféologues, auteurs culinaires, etc.). Or, ces interviews ne nous ont pas permis de conclure sur des leviers techniques concrets. En effet, les discours obtenus étaient vagues, abstraits, difficilement applicables et rien ne nous assurait que ces leviers techniques permettaient de mettre en œuvre de la complexité. Par conséquent, il nous a semblé plus pertinent de confronter les experts interrogés à des produits. Pour cela, nous les avons invités à concevoir des produits en fonction des leviers techniques qu'ils estimaient pertinents pour créer de la complexité.

2.3 L'adaptation du Profil Séquentiel

Traditionnellement en analyse sensorielle, la notion de temporalité définit un suivi temporel intraprise où l'objectif est de caractériser d'éventuels changements de perception au sein de cet intervalle de temps. Cependant, comme souligné par Delarue & Blumenthal (2015), il est important de considérer de nouveaux intervalles et de regarder les perceptions à travers une fenêtre plus large. Dans notre cas, il s'agissait de regarder l'évolution des perceptions sensorielles au sein d'un pot entier. À notre connaissance, il n'existait pas de méthodologie sensorielle descriptive permettant la caractérisation d'un produit hétérogène. En effet, dans un produit hétérogène, il est probable que les bouchées ou cuillérées réalisées ne soient pas toutes les mêmes d'un individu à l'autre.

C'est pourquoi nous avons choisi d'observer le comportement de consommation de plusieurs consommateurs face à des produits hétérogènes (ici des bicouches) afin de mettre en place la méthodologie la plus adaptée. Or, notre étude observationnelle n'a été réalisée que sur un faible

nombre de participants (N=30), tous étudiants, et donc non représentatifs des consommateurs de desserts bicouches. Il aurait donc été intéressant d'approfondir ces résultats en mettant en place une étude de plus grande envergure. En Chapitre 4, afin d'avoir ce type d'information pour l'ensemble de nos participants, nous avons choisi de ne pas observer les consommateurs interrogés mais de leur demander de renseigner individuellement leur comportement de consommation. Cette information est bien entendue moins riche mais nous a permis de distinguer deux types majoritaires de consommateurs : les mélangeurs (qui mélangent le produit avant de le consommer) et les dégustateurs (qui réalisent des cuillères avec les deux couches en différentes proportions).

Avoir cette information comportementale, nous a permis d'adapter dans les deux cas le protocole de dégustation en conséquence. La mise en place d'un tel protocole a donc permis d'étendre le concept de temporalité à une succession de différentes prises d'un même produit afin de se rapprocher d'une situation normale de consommation. Cette adaptation du Profil Séquentiel a donné des résultats prometteurs et devrait permettre, à terme, de déterminer les caractéristiques sensorielles de produits hétérogènes. Elle mériterait cependant d'être plus approfondie sur la pertinence du protocole de cuillères choisi ainsi que sur le nombre de descripteurs sensoriels que l'on peut évaluer par cuillère (comme souligné dans le Chapitre 4 et par Withers, Barnagaud, Mehring, Ferris, & Thomson (2016)).

Enfin, il convient d'admettre que notre adaptation n'a été utilisée que sur des desserts bicouches. Ainsi, nous n'avons aucune garantie sur l'applicabilité de cette méthode sur d'autres produits alimentaires. Cependant nous pensons que cette méthode peut s'adapter à un grand nombre de produits alimentaires hétérogènes. Il s'agirait par exemple de produits tels que des lasagnes, des glaces en cornet ou des pizzas. Cependant, ici, de nouvelles expérimentations seraient nécessaires. Par ailleurs, nous ne voyons aucune limite à l'utilisation de cette méthodologie pour des produits homogènes. Il convient par contre d'admettre que cette méthodologie ne permet pas encore l'utilisation d'un grand nombre de descripteurs, ainsi pour des produits où la caractérisation doit être très précise et couvrir une large gamme de descripteurs (pour du vin ou du café par exemple) cette méthodologie n'est sans doute pas adaptée.

2.4 La mesure ainsi que l'analyse de la complexité

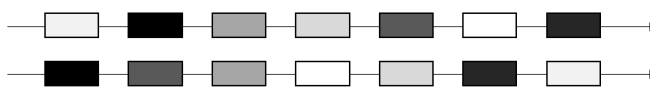
2.4.1 La mesure de la complexité

Comme nous avons pu le voir, certains résultats obtenus nous amènent à questionner la mesure utilisée pour évaluer la complexité sensorielle. En effet, comment expliquer qu'un produit nature sucré (a priori moins complexe par rapport à des bicouches) ait été perçu comme le plus complexe par deux groupes de consommateurs ?

Dans les expérimentations menées, la complexité a été évaluée à l'aide d'une échelle continue non structurée allant de « pas complexe » à « très complexe ». Cette échelle avait déjà été utilisée dans la littérature sans soulever de remarque méthodologique particulière (Meillon et al., 2010; Porcherot

& Issanchou, 1998; Schlich, Medel Maraboli, Urbano, & Parr, 2015; Stolzenbach et al., 2016; Sulmont-Rossé et al., 2008). Dans nos expérimentations, les produits ont été évalués en monadique séquentiel. Cependant les stratégies de présentation utilisées étaient différentes (Figure 44). Dans le Chapitre 3, les produits ont été présentés de manière équilibrée. Dans le Chapitre 4, nous avons choisi d'évaluer les produits par bloc car notre espace produits était constitué de sous-groupes de produits assez distincts (yaourt nature sucré ; yaourts sur coulis de caramel ; yaourts sur coulis de café). Par conséquent, le produit 1-0-0 a toujours été vu en première position. Une autre différence importante entre les deux études est l'exposition préalable à l'espace produit. En effet, dans le Chapitre 3, les participants ont été exposés à l'espace produit avant l'évaluation (pendant la phase d'entraînement) tandis que les participants du chapitre 4 ont découvert les produits au fur et à mesure de leur évaluation.

Chapitre 3 : Monadique Séquentiel – Equilibré entre les participants



Chapitre 4 : Monadique Séquentiel – Equilibré par bloc entre les participants

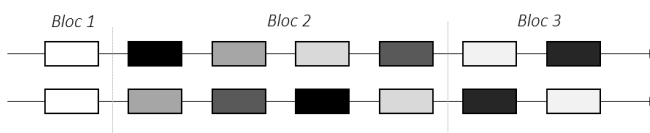


Figure 44. Stratégies de présentation utilisées en Chapitres 3 et 4

Il est donc probable que ces points de divergence aient une influence sur l'évaluation de la complexité sensorielle. Comme nous avons pu le voir la complexité s'évalue de manière relative, par rapport à un référentiel ou au sein d'une catégorie de produits. Ainsi, il est possible que certains consommateurs aient évalué la complexité sensorielle du produit nature sucré en se plaçant dans l'univers des yaourts naturels (Figure 45). En effet, les consommateurs interrogés ne connaissaient pas les produits qui allaient leur être présentés ; ils savaient uniquement qu'ils allaient consommer 7 desserts différents, sur 4 jours consécutifs. Il est donc probable, que le référentiel choisi en début de test (pour le produit nature sucré, 1-0-0) ne correspondait pas aux six produits qui suivaient et qui étaient des bicouches (2-0-0 à 3-1-1). Cependant, une fois leur premier score de complexité donné, il ne leur était plus possible de noter de manière différente et supérieure les produits suivants. Ainsi, une solution pour éviter ce type de résultats serait de présenter ou de décrire l'espace produits au consommateur avant que les produits soient évalués.

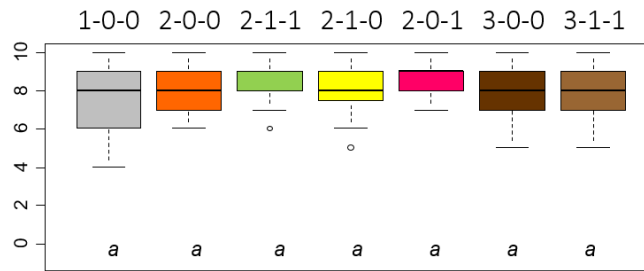


Figure 45. Boîtes à moustache obtenues sur les scores de complexité des consommateurs appartenant au groupe 3

2.4.2 L'analyse de la complexité

Comme nous avons pu le voir, la complexité est une dimension qui possède des propriétés semblables à la fois aux descripteurs sensoriels et aux dimensions hédoniques. Il semble donc pertinent de se demander si l'analyse de la complexité doit se faire de la même manière qu'une variable sensorielle ou comme une variable hédonique. Généralement, les données sensorielles sont non centrées et non réduites car il s'agit de l'évaluation d'intensités. Pour des scores hédoniques, le choix de centrer et/ou réduire les données dépend souvent de l'échelle utilisée, et des protocoles statistiques utilisés pour traiter ces données. Ainsi, dans le cas de la complexité sensorielle, ce choix n'est pas si simple. Cependant à la lumière de nos résultats et de ce qui a été soulevé dans la littérature, il nous semble plus pertinent d'évaluer la complexité de manière relative et non dans l'absolu.

3. Perspectives

3.1 Comment intégrer des données temporelles dans une approche du type cartographie des préférences ?

Pour aller plus loin, nous aurions également souhaité pouvoir utiliser les caractérisations sensorielles obtenues dans des approches du type cartographie des préférences. Cependant l'utilisation de données temporelles dans ce type de modèles n'est pas si évidente. Peu d'articles se sont penchés sur l'utilisation de données dynamiques dans ce type de modèles (Ares et al., 2017; Paulsen et al., 2013). En effet généralement, les données sensorielles dynamiques sont comparées à des données temporelles hédoniques (Thomas, van der Stelt, Schlich, & Lawlor, 2018); ce qui n'est pas le cas dans ce travail.

Plusieurs possibilités sont cependant envisageables mais nécessitent des recherches plus approfondies. En effet, pour rappel, la Figure 46 représente la structure des données que l'on obtient à l'aide d'un Profil Séquentiel réalisé sur 4 cuillères différentes.

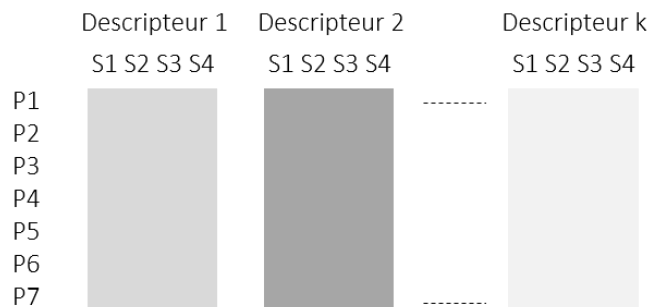


Figure 46. Structure des données obtenue avec un Profil Séquentiel sur 4 cuillères et k descripteurs

La première possibilité serait de ne considérer qu'une seule cuillère ou une cuillère moyenne correspondant à la moyenne des différentes cuillères décrites. Cependant cette option dégraderait la richesse de l'information récoltée. Une autre possibilité serait de mettre en place des méta-variables. Voici une liste (non-exhaustive) de celles que nous avons imaginé :

- Des méta-variables calculées sur les données brutes telles que l'écart d'intensité perçue d'un descripteur entre la première cuillère et la dernière ou la variance d'un descripteur pour l'ensemble des cuillères
- Des méta-variables calculées sur les profils sensoriels telles que la pente sur la courbe d'intensité d'un descripteur entre la première et la dernière cuillère ou le nombre de descripteurs saillants sur le profil
- Des méta-variables calculées à partir d'un plan factoriel telles que la distance entre la première et la dernière cuillère ou le nombre de changement de direction de la trajectoire sensorielle obtenue ou même la longueur de la trajectoire sensorielle

3.2 Comment regrouper l'ensemble de nos données ?

Au cours de ce travail, nous avons récolté de nombreuses données portant des informations riches et complémentaires. Elles pourraient se résumer en trois catégories distinctes :

- De la connaissance issue de l'expertise culinaire
- Des données sensorielles obtenues par la méthodologie du Profil Séquentiel
- Des données subjectives de complexité

A ce stade, il nous semble donc intéressant de vouloir identifier ou développer une approche permettant d'intégrer la richesse de toute cette information afin de mieux comprendre les données hédoniques que nous avons également récoltées. Pour ce faire, une possibilité serait d'utiliser des approches probabilistes telles que les réseaux Bayésien (Golia, Brentari, & Carpita, 2017; Phan et al., 2012). En effet, nous pourrions construire un modèle a priori grâce au savoir d'experts récolté, puis,

valider ou non les liens préétablis grâce à nos données explicatives. Cependant le principal enjeu lié à l'utilisation de tels réseaux est la discrétisation de l'ensemble de nos données explicatives (données sensorielles et données subjectives). En effet, cela soulève donc de nombreuses questions quant à la discrétisation de mesures d'intensité telles que : Quels intervalles choisir ? Quel nombre d'intervalles considérer par variable ?

Une autre possibilité serait d'utiliser de la logique floue. En effet cette approche a déjà été employée pour prédire le profil aromatique de vins à partir de données chimiques et de savoir d'experts (Roche et al., 2017). Dans ses expérimentation, Roche (2018) présente une démarche originale d'intégration de connaissances liées à l'expertise dans une procédure d'analyse de la flaveur. Dans ce cas présent, trois types de données hétérogènes sont agrégés dans un modèle mathématique global : des données chimiques, des données sensorielles et des connaissances d'experts aromaticiens. L'expertise est intégrée à travers la création d'une ontologie qui est ensuite associée à une approche de logique floue optimisée par algorithme évolutionnaire. Le modèle développé permet ainsi de prédire le profil odorant de seize vins rouges sur la base de leur composition en odorants.

4. Applications industrielles

Ce projet étant réalisée dans le cadre d'une thèse CIFRE, il est important de souligner que toutes les études réalisées ont servi et ont répondu à des besoins industriels. Les évaluations consommateurs ont permis de positionner les produits de Danone par rapport à certains produits concurrents. Les profils sensoriels obtenus ont également fourni aux développeurs des informations importantes sur les caractéristiques sensorielles de leurs produits. De plus, pour la première fois, nous avons apporté une compréhension et caractérisation des comportements de consommation face à certains produits de Danone. Enfin, l'étude réalisée avec des chefs pâtisseries et cuisiniers a permis de renforcer l'idée que l'intégration de l'expertise culinaire est une méthodologie pertinente dans l'aide à la conception ainsi que dans la description sensorielle de produits finis.

Par ailleurs, il est important de relever que l'adaptation du Profil Séquentiel développée en Chapitre 3 est aujourd'hui utilisée par les panels d'experts de l'équipe User eXperience de Danone. En effet une partie notable du portefeuille de Danone Produit Frais est composé de produit bicouches avec des marques importantes telles que Danette, Danio, Gervais et Oikos. Cette méthodologie permet aujourd'hui d'avoir une caractérisation plus pertinente de l'ensemble de ces produits.

Pour finir, la complexité sensorielle est aujourd'hui une dimension reconnue comme importante. L'équipe User eXperience de Danone est dorénavant amenée à la considérer pour fournir une caractérisation holistique des produits de Danone. Par ailleurs, comme nous avons pu le voir, son étude est complexe et soulève encore de nombreuses questions. Cependant cette thèse a permis de mettre en avant certains critères sensoriels importants dans la formation de complexité et plus facilement mesurables tels que la richesse aromatique, le contraste de textures molles et dures, l'évolution des sensations perçues, l'équilibre entre les notes dominantes et les notes subtiles, etc.

L'ensemble de ces dimensions a été partagé aux développeurs de produits afin qu'ils prennent conscience de leur importance et qu'ils puissent les considérer dans leurs futurs produits.

Cette thèse aura, je l'espère, mis en exergue la notion de complexité sensorielle. L'ensemble de ces expérimentations a permis d'avancer sur la définition, la mise en œuvre, la mesure, et le rôle de la complexité sensorielle sur les préférences. Ces trois belles années auront également contribué à mettre en avant l'importance de considérer d'autres dimensions dans la compréhension des préférences. Pour finir, sachez que le mot complexité apparaît 472 fois dans ce manuscrit. Merci donc pour votre lecture. J'espère que la complexité vous semble dorénavant moins complexe.

BIBLIOGRAPHIE

- Abidh, S. (2017). *Méthodologie d'ingénierie sensorielle pour la formulation de produits cosmétiques, application au rouge à lèvres*. Paris Saclay.
- Aduriz, A. L. (2012). *Mugaritz : a natural science of cooking*.
- Agence bibliographique de l'enseignement supérieur. (2019). Liste des thèses francophones passées et en cours.
- Alcaire, F., Antúnez, L., Vidal, L., Zorn, S., Giménez, A., Castura, J. C., & Ares, G. (2017). Comparison of static and dynamic sensory product characterizations based on check-all-that-apply questions with consumers. *Food Research International*, *97*, 215–222.
- Antúnez, L., Giménez, A., Alcaire, F., Vidal, L., & Ares, G. (2017). Consumer perception of salt-reduced breads: Comparison of single and two-bites evaluation. *Food Research International*, *100*, 254–259.
- Antúnez, L., Vidal, L., de Saldamando, L., Giménez, A., & Ares, G. (2017). Comparison of consumer-based methodologies for sensory characterization: Case study with four sample sets of powdered drinks. *Food Quality and Preference*, *56*, 149–163.
- Ares, G., Alcaire, F., Antúnez, L., Vidal, L., Giménez, A., & Castura, J. C. (2017). Identification of drivers of (dis)liking based on dynamic sensory profiles: Comparison of Temporal Dominance of Sensations and Temporal Check-all-that-apply. *Food Research International*, *92*, 79–87.
- Ares, G., Antúnez, L., Bruzzone, F., Vidal, L., Giménez, A., Pineau, B., ... Jaeger, S. R. (2015). *Comparison of sensory product profiles generated by trained assessors and consumers using CATA questions: Four case studies with complex and/or similar samples*.
- Ares, G., Barreiro, C., Deliza, R., Giménez, A., & Gámbaro, A. (2010). Application of a check-all-that-apply question to the development of chocolate milk desserts. *Journal of Sensory Studies*, *25*(SUPPL. 1), 67–86.
- Ares, G., Bruzzone, F., Vidal, L., Cadena, R. S., Giménez, A., Pineau, B., ... Jaeger, S. R. (2014). Evaluation of a rating-based variant of check-all-that-apply questions: Rate-all-that-apply (RATA). *Food Quality and Preference*, *36*, 87–95.
- Ares, G., de Saldamando, L., Vidal, L., Antúnez, L., Giménez, A., & Varela, P. (2013). Polarized Projective Mapping: Comparison with Polarized Sensory Positioning approaches. *Food Quality and Preference*, *28*(2), 510–518.
- Ares, G., & Deliza, R. (2010). Identifying important package features of milk desserts using free listing and word association. *Food Quality and Preference*, *21*(6), 621–628.
- Ares, G., Giménez, A., Barreiro, C., & Gámbaro, A. (2010). Use of an open-ended question to identify drivers of liking of milk desserts. Comparison with preference mapping techniques. *Food Quality and Preference*, *21*(3), 286–294.
- Ares, G., Giménez, A., & Gámbaro, A. (2008). Understanding consumers' perception of conventional and functional yogurts using word association and hard laddering. *Food Quality and Preference*, *19*(7), 636–643.
- Ares, G., Jaeger, S. R., Antúnez, L., Vidal, L., Giménez, A., Coste, B., ... Castura, J. C. (2015). Comparison of TCATA and TDS for dynamic sensory characterization of food products. *Food Research*

International, 78, 148–158.

- Ares, G., Varela, P., Rado, G., & Giménez, A. (2011). Identifying ideal products using three different consumer profiling methodologies. Comparison with external preference mapping. *Food Quality and Preference*, 22(6), 581–591.
- Ballester, J., Mihnea, M., Peyron, D., & Valentin, D. (2013). Exploring minerality of Burgundy Chardonnay wines: A sensory approach with wine experts and trained panellists. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 19(2), 140–152.
- Barkat, S., Le Berre, E., Coureaud, G., Sicard, G., & Thomas-Danguin, T. (2012). Perceptual blending in odor mixtures depends on the nature of odorants and human olfactory expertise. *Chemical Senses*, 37(2), 159–166.
- Barnes, D. L., Harper, S. J., Bodyfelt, F. W., & McDaniel, M. R. (2010). Correlation of Descriptive and Consumer Panel Flavor Ratings for Commercial Prestirred Strawberry and Lemon Yogurts. *Journal of Dairy Science*.
- Bech-Larsen, T., & Nielsen, N. A. (1999). A comparison of five elicitation techniques for elicitation of attributes of low involvement products. *Journal of Economic Psychology*, 20(3), 315–341.
- Berglund, B., Berglund, U., & Lindvall, T. (1976). Psychological processing of odor mixtures. *Psychological Review*, 83(6), 432–441.
- Berlyne, D.E. (1955). The arousal and satiation of perceptual curiosity in the rat. *Journal of Comparative and Physiological Psychology*, 48(4), 238–246.
- Berlyne, D.E. (1957). Conflict and information-theory variables as determinants of human perceptual curiosity. *Journal of Experimental Psychology*, 53(6), 399–404.
- Berlyne, D.E. (1960). *Conflict, arousal and curiosity*. Martino Fine Books.
- Berlyne, D.E. (1967). Arousal and reinforcement. *Nebraska Symposium on Motivation 1967*.
- Berlyne, D.E. (1971). *Aesthetics and psychobiology*. Appleton-Century-Crofts.
- Berlyne, D.E., Borsa, D. M., Craw, M. a., Gelman, R. S., & Mandell, E. E. (1965). Effects of stimulus complexity and induced arousal on paired-associate learning. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 4(4), 291–299.
- Bitnes, J., Ueland, Ø., Møller, P., & Martens, M. (2009). Reliability of sensory assessors: Issues of complexity. *Journal of Sensory Studies*, 24(1), 25–40.
- Bom Frøst, M., Giacalone, D., & Rasmussen, K. K. (2015). Alternative methods of sensory testing: working with chefs, culinary professionals and brew masters. In *Rapid Sensory Profiling Techniques* (pp. 363–382).
- Bom Frøst, M. (2018). How to create a frame for collaboration between chefs and scientists – Business as unusual at Nordic Food Lab. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 100132.
- Bom Frøst, M., & Janhøj, T. (2007, November). Understanding creaminess. *International Dairy*

Journal, Vol. 17, pp. 1298–1311.

- Bouteille, R., Cordelle, S., Laval, C., Tournier, C., Lecanu, B., This, H., & Schlich, P. (2013). Sensory exploration of the freshness sensation in plain yoghurts and yoghurt-like products. *Food Quality and Preference*, *30*(2), 282–292.
- Boutrolle, I., Delarue, J., Arranz, D., Rogeaux, M., & Köster, E. P. (2007). Central location test vs. home use test: Contrasting results depending on product type. *Food Quality and Preference*, *18*(3), 490–499.
- Brard, M., & Lé, S. (2018). Adaptation of the Q-methodology for the characterization of a complex concept through a set of products: From the collection of the data to their analysis. *Food Quality and Preference*, *67*(7), 77–86.
- Bras, M. (2017). Le Gargouillou de jeunes légumes.
- Brown, W. E., & Braxton, D. (2000). Dynamics of food breakdown during eating in relation to perceptions of texture and preference: a study on biscuits. *Food Quality and Preference*, *11*(4), 259–267.
- Bruzzone, F., Ares, G., & Giménez, A. (2013). Temporal aspects of yoghurt texture perception. *International Dairy Journal*, *29*(2), 124–134. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2012.10.012>
- Bruzzone, F., Vidal, L., Antúnez, L., Giménez, A., Deliza, R., & Ares, G. (2015). Comparison of intensity scales and CATA questions in new product development: Sensory characterisation and directions for product reformulation of milk desserts. *Food Quality and Preference*, *44*, 183–193.
- Burke, M. J., & Gridley, M. C. (1990). Musical preferences as a function of stimulus complexity and listeners' sophistication. *Perceptual and Motor Skills*, *71*(2), 687–690.
- Cadena, R. S., Vidal, L., Ares, G., & Varela, P. (2014). Dynamic sensory descriptive methodologies. Time-intensity and temporal dominance of sensations. In P. Varela & G. Ares (Eds.), *Novel techniques in sensory characterization and consumer profiling* (CRC Press, pp. 333–363).
- Caillé, S., Salmon, J. M., Bouvier, N., Roland, A., & Samson, A. (2017). Modification of the olfactory sensory characteristics of Chardonnay wine through the increase in sotolon concentration. *Food Quality and Preference*, *56*, 225–230.
- Cairncross, S., & Sjöström, L. B. (1997). Flavor profiles: a new approach to flavor problems. *Food Technology*, *4*, 308–311.
- Cardaci, M., Di Gesù, V., Petrou, M., & Tabacchi, M. E. (2009). Attentional vs computational complexity measures in observing paintings. *Spatial Vision*, *22*(3), 195–209.
- Cardello, A. V., Pineau, B., Paisley, A. G., Roigard, C. M., Chheang, S. L., Guo, L. F., ... Jaeger, S. R. (2016). Cognitive and emotional differentiators for beer: An exploratory study focusing on "uniqueness." *Food Quality and Preference*, *54*, 23–38.
- Castura, J. C., Antúnez, L., Giménez, A., & Ares, G. (2016). Temporal Check-All-That-Apply (TCATA): A novel dynamic method for characterizing products. *Food Quality and Preference*, *47*, 79–90.

- Cayot, P., Schenker, F., Houzé, G., Sulmont-Rossé, C., & Colas, B. (2008). Creaminess in relation to consistency and particle size in stirred fat-free yogurt. *International Dairy Journal*, *18*(3), 303–311.
- Chambers, E., Sanchez, K., Phan, U. X. T., Miller, R., Civille, G. V., & Di Donfrancesco, B. (2016). Development of a “living” lexicon for descriptive sensory analysis of brewed coffee. *Journal of Sensory Studies*, *31*(6), 465–480.
- Charby, J., Hébel, P., & Vaudaine, S. (2017). Dairy products in France: market evolution and role in the diet. *Cahiers de Nutrition et Diététique*, *52S*, S25–S34.
- Chmiel, A., & Schubert, E. (2017). *Back to the inverted-U for music preference: A review of the literature*. *45*(6), 886–909.
- Clemons, E. K. (2008). How information changes consumer behavior and how consumer behavior determines corporate strategy. *Journal of Management Information Systems*, *25*(2), 13–40.
- Collectif. (2018). *Le guide Hachette des vins*. Hachette Livre.
- Courcoux, P., Qannari, E. M., & Faye, P. (2015). Free sorting as a sensory profiling technique for product development. In *Rapid Sensory Profiling Techniques and Related Methods: Applications in New Product Development and Consumer Research* (pp. 153–185).
- Crisinel, A.S., & Spence, C. (2012). A Fruity Note: Crossmodal associations between odors and musical notes. *Chemical Senses*, *37*(2), 151–158.
- Cummings, M. L., Sasangohar, F., Thornburg, K. M., Xing, J., & D’agostino, A. (2010). *Human-System Interface Complexity and Opacity Part I: Literature Review Prepared For Nuclear Regulatory Commission Office of Nuclear Regulatory Research*.
- Database Innova. (2019). *Chilled Desserts*. <https://www.innovadatabase.com>.
- Delarue, J., Brassat, A.-C., Jarrot, F., & Abiven, F. (2019). Taking control of product testing context thanks to a multi-sensory immersive room. A case study on alcohol-free beer. *Food Quality and Preference*, *75*, 78–86.
- Delarue, J. & Blumenthal, D. (2015). Temporal aspects of consumer preferences. *Current Opinion in Food Science*, *3*, 41–46.
- Delarue, J., & Loescher, E. (2004). Dynamics of food preferences: A case study with chewing gums. *Food Quality and Preference*, *15*(7-8 SPEC.ISS.), 771–779.
- Dember, W.N., & Earl, R. W. (1957). Analysis of exploratory, manipulatory, and curiosity behaviors. *Psychological Review*, *64*(2), 91–96.
- Dember, W.N. (1960). *The Psychology of Perception* (H. Holt, Ed.).
- Deroy, O., Michel, C., Piqueras-Fiszman, B., & Spence, C. (2014). The plating manifesto (I): from decoration to creation. *Flavour*, *3*(1).
- Devezeaux de Lavergne, M., Tournier, C., Bertrand, D., Salles, C., van de Velde, F., & Stieger, M. (2016). Dynamic texture perception, oral processing behaviour and bolus properties of

- emulsion-filled gels with and without contrasting mechanical properties. *Food Hydrocolloids*, 52, 648–660.
- Di Monaco, R., Su, C., Masi, P., & Cavella, S. (2014). Temporal dominance of sensations: A review. *Trends in Food Science and Technology*, Vol. 38, pp. 104–112.
- Dinnella, C., Masi, C., Zoboli, G., & Monteleone, E. (2012). Sensory functionality of extra-virgin olive oil in vegetable foods assessed by Temporal Dominance of Sensations and Descriptive Analysis. *Food Quality and Preference*, 26(2), 141–150.
- Drewnowski, A., & Moskowitz, H. R. (1985). Sensory characteristics of foods: New evaluation techniques. *American Journal of Clinical Nutrition*, 42(5 SUPPL.), 924–931.
- Dugas, V., Pineau, N., & Folmer, B. (2012). Evaluation whole cup experience in gourmet espresso coffee by using dynamic methods. *5th European Conference on Sensory and Consumer Research*. Bern.
- Duncan, K. H., Bacon, J. A., & Weinsier, R. L. (1983). The effects of high and low energy density diets on satiety, energy intake, and eating time of obese and nonobese subjects. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 37(5), 763–767.
- Edmonds, B. (1995). *What is Complexity? The philosophy of complexity per se with application to some examples in evolution*.
- Elmore, J. R., Heymann, H., Johnson, J., & Hewett, J. E. (1999). Preference mapping: relating acceptance of “creaminess” to a descriptive sensory map of a semi-solid. *Food Quality and Preference*.
- Erickson, R. P., & Covey, E. (1980). On the singularity of taste sensations: What is a taste primary? *Physiology and Behavior*, 25(4), 527–533.
- Eschevins, A., Giboreau, A., Allard, T., & Dacremont, C. (2018). The role of aromatic similarity in food and beverage pairing. *Food Quality and Preference*, 65, 18–27.
- Eschevins, A., Giboreau, A., Julien, P., & Dacremont, C. (2019). From expert knowledge and sensory science to a general model of food and beverage pairing with wine and beer. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 100144.
- Esmerino, E. A., Castura, J. C., Ferraz, J. P., Tavares Filho, E. R., Silva, R., Cruz, A. G., ... Bolini, H. M. A. (2017). Dynamic profiling of different ready-to-drink fermented dairy products: A comparative study using Temporal Check-All-That-Apply (TCATA), Temporal Dominance of Sensations (TDS) and Progressive Profile (PP). *Food Research International*, 101, 249–258.
- Euromonitor International. (2017). Dairy Products. In *Euromonitor Passport database*.
- Faber, N. K. M., Mojet, J., & Poelman, A. A. M. (2003). Simple improvement of consumer fit in external preference mapping. *Food Quality and Preference*, 14(5–6), 455–461.
- Faye, P., Brémaud, D., Teillet, E., Courcoux, P., Giboreau, A., & Nicod, H. (2006). An alternative to

- external preference mapping based on consumer perceptive mapping. *Food Quality and Preference*, 17(7–8), 604–614.
- Fenko, A., Kersten, L., & Bialkova, S. (2016). Overcoming consumer scepticism toward food labels: The role of multisensory experience. *Food Quality and Preference*, 48, 81–92.
- Fenko, A., Schifferstein, H. N. J., Huang, T.-C., & Hekkert, P. (2009). What makes products fresh: The smell or the colour? *Food Quality and Preference*, 20(5), 372–379.
- Forsythe, A., Nadal, M., Sheehy, N., Cela-Conde, C. J., & Sawey, M. (2011). Predicting beauty: Fractal dimension and visual complexity in art. *British Journal of Psychology*, 102(1), 49–70.
- Galiñanes Plaza, A., Delarue, J., & Saulais, L. (2018). The pursuit of ecological validity through contextual methodologies. *Food Quality and Preference*.
- Galmarini, M. V., Symoneaux, R., Chollet, S., & Zamora, M. C. (2013). Understanding apple consumers' expectations in terms of likes and dislikes. Use of comment analysis in a cross-cultural study. *Appetite*, 62, 27–36.
- Garbez, M., Symoneaux, R., Belin, Caraglio, Y., Chéné, Y., Donès, N., ... Galopin, G. (2018). Ornamental plants architectural characteristics in relation to visual sensory attributes: A new approach on the rose bush for objective evaluation of the visual quality. *European Journal of Horticultural Science*, 83(3), 187–201.
- Gaudry, F. R. (2018). Noma hors norme.
- Giacalone, D., Duerlund, M., Bøegh-Petersen, J., Bredie, W. L. P., & Frøst, M. B. (2014). Stimulus collative properties and consumers' flavor preferences. *Appetite*, 77, 20–30.
- Giboreau, A. (2017). Sensory and consumer research in culinary approaches to food. *Current Opinion in Food Science*, 15, 87–92.
- Golia, S., Brentari, E., & Carpita, M. (2017). Causal reasoning applied to sensory analysis: The case of the Italian wine. *Food Quality and Preference*, 59, 97–108.
- Gordin, H. H. (1987). Intensity variation descriptive methodology: development and application of a new sensory evaluation technique. *Journal of Sensory Studies*, 2(3), 187–198.
- Green, P. E., & Srinivasan, V. (1978). Conjoint Analysis in Consumer Research: Issues and Outlook. *Journal of Consumer Research*, 5(2), 103.
- Greenhoff, K., & MacFie, H. J. H. (1994). Preference mapping in practice. In *Measurement of Food Preferences* (pp. 137–166).
- Guerrero, L., Guàrdia, M. D., Xicola, J., Verbeke, W., Vanhonacker, F., Zakowska-Biemans, S., ... Hersleth, M. (2009). Consumer-driven definition of traditional food products and innovation in traditional foods. A qualitative cross-cultural study. *Appetite*, 52(2), 345–354.
- Guo, X., Qian, Y., Li, L., & Asano, A. (2018). Assessment model for perceived visual complexity of painting images. *Knowledge-Based Systems*, 159, 110–119.
- Gurmeet, S., & Amrita, P. (2015). Unique pandanus - Flavour, food and medicine. *Journal of*

Pharmacognosy and Phytochemistry, 5(3), 08–14.

- Haddad, Y., Haddad, J., Olabi, A., Shuayto, N., Haddad, T., & Toufeili, I. (2007). Mapping determinants of purchase intent of concentrated yogurt (Labneh) by conjoint analysis. *Food Quality and Preference*.
- Hassenzahl, M. (2001). The effect of perceived hedonic quality on product appealingness. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 13(4), 481–499.
- Hebb, D. O. (1949). The first stage of perception: growth of the assembly. *The Organization of Behavior*, (4), 60–78.
- Hermé, P. (2016). *Surprises et gourmandises de Pierre Hermé* (Solar).
- Heyduk, R. G. (1975). Rated preference for musical compositions as it relates to complexity and exposure frequency. *Perception Psychophysics*, 17(1), 84–90.
- Hutchings, S. C., Foster, K. D., Bronlund, J. E., Lentle, R. G., Jones, J. R., & Morgenstern, M. P. (2011). Mastication of heterogeneous foods: Peanuts inside two different food matrices. *Food Quality and Preference*, 22(4), 332–339.
- Jack, F. R., & Piggott, J. R. (1991). Free choice profiling in consumer research. *Food Quality and Preference*, 3(3), 129–134.
- Jackson, R. S. (2009). *Wine tasting : a professional handbook*. Academic Press.
- Jaeger, S. R., Cardello, A. V., Jin, D., Hunter, D. C., Roigard, C. M., & Hedderley, D. I. (2017). Product uniqueness: Further exploration and application of a consumer-based methodology. *Food Quality and Preference*, 60, 59–71.
- Jang, S.-H., Kim, M.-J., Lim, J., & Hong, J.-H. (2016). Cross-Cultural Comparison of Consumer Acceptability of Kimchi with Different Degree of Fermentation. *Journal of Sensory Studies*, 31(2), 124–134.
- Jellinek, J. S., & Köster, E. P. (1979). Perceived fragrance complexity and its relation to familiarity and pleasantness. *Journal of the Society of Cosmetic Chemists*, 30, 253–262.
- Jellinek, J. S., & Köster, E. P. (1983). Perceived fragrance complexity and its relationship to familiarity and pleasantness: 2. *Journal of the Society of Cosmetic Chemists*, 34(2), 83–98.
- Jeltema, M., Beckley, J., & Vahalik, J. (2016). Food texture assessment and preference based on Mouth Behavior. *Food Quality and Preference*, 52, 160–171.
- Jervis, S. M., Gerard, P., Drake, S., Lopetcharat, K., & Drake, M. A. (2014). The perception of creaminess in sour cream. *Journal of Sensory Studies*.
- Kemp, S. E. (2013). Consumers as part of food and beverage industry innovation. In *Open Innovation in the Food and Beverage Industry* (pp. 109–138).

- Kilcast, D., & Clegg, S. (2002). Sensory perception of creaminess and its relationship with food structure. *Food Quality and Preference*, *13*(7–8), 609–623.
- Kildegaard, H., A., O., Gabrielsen, G., P., M., & Thybo, A. K. (2011). A method to measure the effect of food appearance factors on children's visual preferences. *Food Quality and Preference*, *22*(8), 763–771.
- Köster, E. P. (2009). Diversity in the determinants of food choice: A psychological perspective. *Food Quality and Preference*, *20*(2), 70–82.
- Köster, E. P., Couronne, T., Léon, F., Lévy, C., & Marcelino, A. S. (2003). Repeatability in hedonic sensory measurement: A conceptual exploration. *Food Quality and Preference*, *14*(2), 165–176.
- Köster, E. P., & Mojet, J. (2007). Theories of food choice development. *Understanding Consumers of Food Products*, 93–124.
- Köster, E. P., & Mojet, J. (2016). Familiarity, monotony, or variety: The role of flavor complexity in food intake. In *Flavor: From Food to Behaviors, Wellbeing and Health* (pp. 277–291).
- Köster, E. P., & Mojet, J. (2007). Boredom and the reasons why some new products fail. In H. J. H. MacFie (Ed.), *Consumer-led food product development* (Woodhead P, pp. 262–280). Abington, Cambridge, UK.
- Köster, E. P. (2002). The specific characteristics of the sense of smell. In C. Rouby & B. Schall (Eds.), *Odor and Cognition* (pp. 27–43). Cambridge: University Press.
- Köster, E. P., Møller, P., & Mojet, J. (2014). A “Misfit” Theory of Spontaneous Conscious Odor Perception (MITSCOP): reflections on the role and function of odor memory in everyday life. *Frontiers in Psychology*, *5*, 64.
- Köster, E. P. (1985). The importance of stimulus complexity in the analysis of sensory preferences. In J. Adda (Ed.), *Progress in Flavour Research* (Elsevier S, pp. 1–27). Amsterdam.
- Köster, E. P. (2003). The psychology of food choice: Some often encountered fallacies. *Food Quality and Preference*, *14*(5–6), 359–373.
- Kramer, M. (2012). How to Really Taste Wine | Drinking Out Loud | News & Features | Wine Spectator. Retrieved April 12, 2019, from Wine Spectator website: <https://www.winespectator.com/webfeature/show/id/47792>
- Kremer, S., Shimojo, R., Holthuysen, N., Köster, E. P., & Mojet, J. (2013). Consumer acceptance of salt-reduced “soy sauce” bread over repeated in home consumption. *Food Quality and Preference*, *28*(2), 484–491.
- Labbe, D., Martin, N., Le Coutre, J., & Hudry, J. (2011). Impact of refreshing perception on mood, cognitive performance and brain oscillations: An exploratory study. *Food Quality and Preference*, *22*(1), 92–100.
- Labbe, David, Gilbert, F., Antille, N., & Martin, N. (2009). Sensory determinants of refreshing. *Food Quality and Preference*, *20*(2), 100–109.

- Lagorce, S., Fénot, E., & Wyart, R. (2015). *Traité de miamologie : l'étude des disciplines nécessaires aux gourmands : les fondements de la cuisine décryptés par le Pourquoi*. 180° des recettes et des hommes.
- Laing, D. G., & Livermore, B. A. (1992). Perceptual Analysis of Complex Chemical Signals by Humans. In *Chemical Signals in Vertebrates 6* (pp. 587–593).
- Langlois, J., Dacremont, C., Peyron, D., Valentin, D., & Dubois, D. (2011). Lexicon and types of discourse in wine expertise: The case of vin de garde. *Food Quality and Preference*, *22*(6), 491–498.
- Larsen, D. S., Tang, J., Ferguson, L. R., & James, B. J. (2016). Increased textural complexity in food enhances satiation. *Appetite*, *105*, 189–194.
- Lawless, H., & Engen, T. (1977). Associations to odors: interference, mnemonics, and verbal labeling. *Journal of Experimental Psychology. Human Learning and Memory*, *3*(1), 52–59.
- Lawless, H. T. (1989). Exploration of fragrance categories and ambiguous odors using multidimensional scaling and cluster analysis. *Chemical Senses*, *14*(3), 349–360.
- Lawless, H. T. (1999). Descriptive analysis of complex odors: reality, model or illusion? *Food Quality and Preference*, *10*(4–5), 325–332.
- Lawless, H. T., & Heymann, H. (1999). Time-Intensity Methods. In *Sensory Evaluation of Food*.
- Lawless, H. T., & Heymann, H. (2010). *Sensory evaluation of food : principles and practices*. Springer.
- Lee, S. C., Kim, Y. W., & Ji, Y. G. (2019). Effects of visual complexity of in-vehicle information display: Age-related differences in visual search task in the driving context. *Applied Ergonomics*, *81*.
- Lee, W. E., & Pangborn, R. M. (1986). Time-intensity: the temporal aspects of sensory perception. *Food Technology*, *40*(11), 71–78.
- Lesschaeve, I. (2006). The Use of Sensory Descriptive Analysis to Gain a Better Understanding of Consumer Wine Language. *The 3rd International Wine Business and Marketing Research Conference*. Academy of Wine Business Research, Montpellier, France.
- Lévy, C., & Köster, E. (1999). The relevance of initial hedonic judgements in the prediction of subtle food choices. *Food Quality and Preference*, *10*(3), 185–200.
- Lévy, C. M., MacRae, A., & Köster, E. P. (2006). Perceived stimulus complexity and food preference development. *Acta Psychologica*, *123*(3), 394–413.
- Levy, P. (2013). Heston Blumenthal's new book: These faux cookbooks leave me simmering.
- Livermore, A., & Laing, D. G. (1998). The influence of chemical complexity on the perception of multicomponent odor mixtures. *Perception & Psychophysics*, *60*(4), 650–661.
- Louw, L., Oelofse, S., Naes, T., Lambrechts, M., van Rensburg, P., & Nieuwoudt, H. (2014). Trained sensory panellists' response to product alcohol content in the projective mapping task: Observations on alcohol content, product complexity and prior knowledge. *Food Quality and Preference*, *34*, 37–44.
- Lyons, S. J., & Wien, A. H. (2018). Evoking premiumness: How color-product congruency influences

premium evaluations. *Food Quality and Preference*, *64*, 103–110.

- Marcano, J., Morales, D., Vele-Ruiz, J. F., & Fiszman, S. (2015). Does food complexity have a role in eliciting expectations of satiating capacity? *Food Quality and Preference*, *75*, 225–232.
- Marin, M. M., Lampatz, A., Wandl, M., & Leder, H. (2016). Berlyne Revisited: Evidence for the Multifaceted Nature of Hedonic Tone in the Appreciation of Paintings and Music. *Frontiers in Human Neuroscience*, *10*, 1–20.
- Marin, M. M., & Leder, H. (2012). Relating subjective with objective measures of complexity in affective environmental scenes and representative paintings. *Perception*, *41*.
- Marin, M. M., & Leder, H. (2013). Examining Complexity across Domains: Relating Subjective and Objective Measures of Affective Environmental Scenes, Paintings and Music. *PLoS ONE*, *8*(8), 1–35.
- Marin, M. M., & Leder, H. (2016). Effects of presentation duration on measures of complexity in affective environmental scenes and representational paintings. *Acta Psychologica*, *163*, 38–58.
- Marin, M. M., & Leder, H. (2018). Exploring aesthetic experiences of females: Affect-related traits predict complexity and arousal responses to music and affective pictures. *Personality and Individual Differences*, *125*, 80–90.
- Martens, H., Izquierdo, L., Thomassen, M., & Martens, M. (1986). Partial least-squares regression on design variables as an alternative to analysis of variance. *Analytica Chimica Acta*, *191*, 133–148.
- Martin, C., Visalli, M., Lange, C., Schlich, P., & Issanchou, S. (2014). Creation of a food taste database using an in-home “taste” profile method. *Food Quality and Preference*, *36*, 70–80.
- Martindale, C., Moore, K., & Borkum, J. (1990). Aesthetic Preference: Anomalous Findings for Berlyne’s Psychobiological Theory. *The American Journal of Psychology*, *103*(1), 53.
- Masson, M. (2014). *Contribution à la modélisation des préférences des consommateurs en fonction de dimensions sensorielles et subjectives par les modèles d’équations structurelles. Application aux préférences des sièges conducteurs de véhicules.*
- Masson, M., Delarue, J., Bouillot, S., Sieffermann, J.-M., & Blumenthal, D. (2016). Beyond sensory characteristics, how can we identify subjective dimensions? A comparison of six qualitative methods relative to a case study on coffee cups. *Food Quality and Preference*, *47*, 156–165.
- Masson, M., Saint-Eve, A., Delarue, J., & Blumenthal, D. (2016). Identifying the ideal profile of French yogurts for different clusters of consumers. *Journal of Dairy Science*, *99*(5), 3421–3433.
- Mazur, J., Drabek, R., & Goldman, A. (2018). Hedonic contrast effects in multi-product food evaluations differing in complexity. *Food Quality and Preference*, *63*, 159–167.
- McCall, M., & Lynn, A. (2008). The effects of restaurant menu item descriptions on perceptions of quality, Price, and purchase intention. *Journal of Foodservice Business Research*, *11*(4), 439–445.
- Medel, M., Viala, D., Meillon, S., Urbano, C., & Schlich, P. (2009). *A questionnaire for assessing the*

perceived complexity of wine. Application to the study of the effect of expertise on perception of wine complexity. Florence, Italy: 8th Pangborn Sensory Science Symposium.

- Meilgaard, M., G.V., C., & Carr, B. T. (1999). The spectrum descriptive analysis method. In *Sensory Evaluation Techniques (3rd ed)* (CRC Press).
- Meillon, S., Viala, D., Medel, M., Urbano, C., Guillot, G., & Schlich, P. (2010). Impact of partial alcohol reduction in Syrah wine on perceived complexity and temporality of sensations and link with preference. *Food Quality and Preference*, *21*(7), 732–740.
- Meiselman, H. L., Johnson, J. L., Reeve, W., & Crouch, J. E. (2000). Demonstrations of the influence of the eating environment on food acceptance. *Appetite*, *35*(3), 231–237.
- Meiselman, H. L. (1992). Methodology and theory in human eating research. *Appetite*, *19*(1), 49–55.
- Meiselman, Herbert L. (2008). Experiencing food products within a physical and social context. In *Product Experience* (pp. 559–580).
- Messeni Petruzzelli, A., & Savino, T. (2014). Search, Recombination, and Innovation: Lessons from Haute Cuisine. *Long Range Planning*, *47*(4), 224–238.
- Messinger, S. M. (1998). Pleasure and Complexity: Berlyne Revisited. *The Journal of Psychology*, *132*(5), 558–560.
- Methven, L., Rahelu, K., Economou, N., Kinneavy, L., Ladbrooke-Davis, L., Kennedy, O. B., ... Gosney, M. A. (2010). The effect of consumption volume on profile and liking of oral nutritional supplements of varied sweetness: sequential profiling and boredom tests. *Food Quality and Preference*, *21*, 948–955.
- Meyer, L. B. (1956). *Emotion and meaning in music* (University). Chicago.
- Mielby, L. H., & Frøst, M. B. (2010). Expectations and surprise in a molecular gastronomic meal. *Food Quality and Preference*, *21*(2), 213–224.
- Mielby, L. H., Jensen, S., Edelenbos, M., & Thybo, A. K. (2013). An Approach to Measuring Adolescents' Perception of Complexity for Pictures of Fruit and Vegetable Mixes. *Journal of Sensory Studies*, *28*(1), 66–75.
- Mielby, L. H., Kildegaard, H., Gabrielsen, G., Edelenbos, M., & Thybo, A. K. (2012). Adolescent and adult visual preferences for pictures of fruit and vegetable mixes - Effect of complexity. *Food Quality and Preference*, *26*(2), 188–195.
- Mintel. (2016). *Global new products database*.
- Mireaux, M., Cox, D. N., Cotton, A., & Evans, G. (2007). An adaptation of repertory grid methodology to evaluate Australian consumers' perceptions of food products produced by novel technologies. *Food Quality and Preference*, *18*(6), 834–848.
- Mitterer Daltoé, M. L., Breda, L. S., Belusso, A. C., Nogueira, B. A., Rodrigues, D. P., Fiszman, S., & Varela, P. (2017). Projective mapping with food stickers: A good tool for better understanding perception of fish in children of different ages. *Food Quality and Preference*, *57*, 87–96.
- Moio, L., Schlich, P., Issanchou, S., Etievant, P. X., & Feuillat, M. (1993). Description de la typicité

- aromatique de vins de Bourgogne issus du Cépage Chardonnay. *OENO One*, 27(3), 179.
- Mojet, J., & Köster, E. (2017). The Dynamics of Liking. In *Time-Dependent Measures of Perception in Sensory Evaluation* (pp. 124–155). Chichester, UK: John Wiley & Sons, Ltd.
- Monteleone, E., Raats, M. M., & Mela, D. J. (1997). Perceptions of starchy food dishes: Application of the Repertory Grid Method. *Appetite*, 28(3), 255–265.
- Morais, E. C., Pinheiro, A. C. M., Nunes, C. A., & Bolini, H. M. A. (2014). Multiple Time-Intensity Analysis and Temporal Dominance of Sensations of Chocolate Dairy Dessert Using Prebiotic and Different High-Intensity Sweeteners. *Journal of Sensory Studies*, 29(5), 339–350.
- Moskowitz, H. R. (1972). Subjective ideals and sensory optimization in evaluating perceptual dimensions in food. *Journal of Applied Psychology*, 56(1), 60–66.
- Moskowitz, H. R. (2001). Sensory directionals for PIZZA: A deeper analysis. *Journal of Sensory Studies*, 16(6), 583–600.
- Moskowitz, H. R., & Silcher, M. (2006). The applications of conjoint analysis and their possible uses in Sensometrics. *Food Quality and Preference*, 17(3–4), 145–165.
- Moussaoui, K. A., & Varela, P. (2010). Exploring consumer product profiling techniques and their linkage to a quantitative descriptive analysis. *Food Quality and Preference*, 21(8), 1088–1099.
- Muller, K. (2004). *Prédiction de l'évolution des préférences des consommateurs dans le temps en fonction de facteurs sensoriels et plus particulièrement de la complexité perçue et de la familiarité et de facteurs individuels : application à deux gammes de produits*. Institut national d'agronomie de Paris Grignon.
- Muñoz, A. M. (2017). A5daptive Profile Method®. In *Descriptive Analysis in Sensory Evaluation* (pp. 389–445).
- Muñoz, F., Hildebrandt, A., Schacht, A., Stürmer, B., Bröcker, F., Martín-Loeches, M., & Sommer, W. (2018). What makes the hedonic experience of a meal in a top restaurant special and retrievable in the long term? Meal-related, social and personality factors. *Appetite*, 125, 454–465.
- Murray, J. M., Delahunty, C. M., & Baxter, I. A. (2001). Descriptive sensory analysis: Past, present and future. *Food Research International*.
- Niimi, J., Danner, L., Li, L., Bossan, H., & Bastian, S. E. P. (2017). Wine consumers' subjective responses to wine mouthfeel and understanding of wine body. *Food Research International*, 99, 115–122.
- Nsonging Dongmo, S., Procopio, S., Sacher, B., & Becker, T. (2016). Flavor of lactic acid fermented malt based beverages: Current status and perspectives. *Trends in Food Science & Technology*, 54, 37–51.
- Olabi, A., Neuhaus, T., Bustos, R., Cook-Camacho, M., Corvi, T., & Abdouni, L. (2015). An investigation of flavor complexity and food neophobia. *Food Quality and Preference*, 42, 123–129.

- Oliveira, D., Antúnez, L., Giménez, A., Castura, J. C., Deliza, R., & Ares, G. (2015). Sugar reduction in probiotic chocolate-flavored milk: Impact on dynamic sensory profile and liking. *Food Research International*, *75*, 148–156.
- Osborne, J. W., & Farley, F. H. (1970). The relationship between aesthetic preference and visual complexity in abstract art. *Psychonomic Science*, *19*(2), 69–70.
- Paakki, M., Sandell, M., & Hopia, A. (2019). Visual attractiveness depends on colorfulness and color contrasts in mixed salads. *Food Quality and Preference*, *76*, 81–90.
- Pagès, J. (2003). Direct collection of sensory distances: Application to the evaluation of ten white wines of the Loire Valley. *Sciences Des Aliments*, *23*(5–6), 679–688.
- Palazzo, A. B., & Bolini, H. M. A. (2009). Multiple time-intensity analysis and acceptance of raspberry-flavored gelatin. *Journal of Sensory Studies*, *24*(5), 648–663.
- Palczak, J., Blumenthal, D., Rogeaux, M., & Delarue, J. (2019). Sensory complexity and its influence on hedonic responses: A systematic review of applications in food and beverages. *Food Quality and Preference*, *71*, 66–75.
- Palczak, J., Blumenthal, D., & Delarue, J. (2019). From consumption behaviour to sensory measurement: Sensory characterization of the perceived flavour complexity of a chocolate
- Parr, W. V., Mouret, M., Blackmore, S., Pelquest-Hunt, T., & Urdapilleta, I. (2011). Representation of complexity in wine: Influence of expertise. *Food Quality and Preference*, *22*(7), 647–660.
- Parr, Wendy V., Valentin, D., Breitmeyer, J., Peyron, D., Darriet, P., Sherlock, R., ... Ballester, J. (2016). Perceived minerality in sauvignon blanc wine: Chemical reality or cultural construct? *Food Research International*, *87*, 168–179.
- Paulsen, M. T., Næs, T., Ueland, Ø., Rukke, E. O., & Hersleth, M. (2013). Preference mapping of salmon-sauce combinations: The influence of temporal properties. *Food Quality and Preference*, *27*(2), 120–127.
- Paulsen, M. T., Rogns, G. H., & Hersleth, M. (2015). Consumer perception of food-beverage pairings: The influence of unity in variety and balance. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, *2*(2), 83–92.
- Paulsen, M. T., Ueland, Ø., Nilsen, A. N., Öström, Å., & Hersleth, M. (2012). Sensory perception of salmon and culinary sauces - An interdisciplinary approach. *Food Quality and Preference*, *23*(2), 99–109.
- Pérez-Lloréns, J. L. (2019). Cooking-Science-Communication (CSC): the ideal trident to enjoy the dining experience. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 100134.
- Pfaffmann, C. (1980). Wundt's schema of sensory affect in the light of research on gustatory preferences. *Psychological Research*, *42*(1–2), 165–174.
- Phan, V. A., Boekel, M. A. J. S. van, Dekker, M., & Garczarek, U. (2010). Bayesian networks for food science: theoretical background and potential applications. In S. R. Jaeger & H. MacFie (Eds.), *Consumer-driven innovation in food and personal care products* (pp. 488–513). Woodhead

Publishing Ltd.

- Phan, V. A., Ramaekers, M. G., Bolhuis, D. P., Garczarek, U., van Boekel, M. A. J. S., & Dekker, M. (2012). On the use of Bayesian networks to combine raw data from related studies on sensory satiation. *Food Quality and Preference*, *26*(1), 119–127.
- Pic, A. S. (2019). Menu de la Maison Pic. Retrieved from <https://www.anne-sophie-pic.com/valence/#lerestaurant>
- Picard, M. (2015). *Recherches sur le bouquet de vieillissement des vins rouges de Bordeaux : Etudes sensorielle et moléculaire d'un concept olfactif complexe*.
- Picard, M., Tempere, S., de Revel, G., & Marchand, S. (2015). A sensory study of the ageing bouquet of red Bordeaux wines: A three-step approach for exploring a complex olfactory concept. *Food Quality and Preference*, *42*, 110–122.
- Pierguidi, L., Spinelli, S., Dinnella, C., Prescott, J., & Monteleone, E. (2019). Individual differences in perceived complexity are associated with different affective responses to alcoholic cocktails. *Food Quality and Preference*, *76*, 47–59.
- Pimentel, T. C., Cruz, A. G., & Prudencio, S. H. (2013). Short communication: Influence of long-chain inulin and *Lactobacillus paracasei* subspecies *paracasei* on the sensory profile and acceptance of a traditional yogurt. *Journal of Dairy Science*.
- Pineau, N., Cordelle, S., & Schlich, P. (2003). Temporal dominance of sensations: a new technique to record several sensory attributes simultaneously over time. *5th Pangborn Sensory Symposium*.
- Piqueras-Fizman, B., Velasco, C., Salgado-Montejo, A., & Spence, C. (2013). Using combined eye tracking and word association in order to assess novel packaging solutions: A case study involving jam jars. *Food Quality and Preference*, *28*(1), 328–338.
- Poirson, E., Petiot, J.-F., Boivin, L., & Blumenthal, D. (2013). Eliciting User Perceptions Using Assessment Tests Based on an Interactive Genetic Algorithm. *Journal of Mechanical Design*, *135*(3), 031004.
- Popper, R., & Kroll, D. R. (2005). Just-About-Right Scales in Consumer Research. *Chemical Senses*, *7*(3), 2–6.
- Porcherot, C., & Issanchou, S. (1998). Dynamics of liking for flavoured crackers: Test of predictive value of a boredom test. *Food Quality and Preference*, *9*(1–2), 21–29.
- Pourcel, J., & Pourcel, L. (2017). Le menu dégustation de Gaggan à Bangkok - 25 bouchées en 59 secondes.
- Raz, C., Piper, D., Haller, R., Nicod, H., Dusart, N., & Giboreau, A. (2008). From sensory marketing to sensory design: How to drive formulation using consumers' input? *Food Quality and Preference*, *19*(8), 719–726.
- Reinbach, H. C., Giacalone, D., Ribeiro, L. M., Bredie, W. L. P., & Bom Frøst, M. (2013). *Comparison of three sensory profiling methods based on consumer perception: CATA, CATA with intensity and Napping 0*.

- Reverdy, C., Schlich, P., Köster, E. P., Ginon, E., & Lange, C. (2010). Effect of sensory education on food preferences in children. *Food Quality and Preference*, *21*(7), 774–780.
- Richardson-Harman, N. J., Stevens, R., Walker, S., Gamble, J., Miller, M., Wong, M., & McPherson, A. (2000). Mapping consumer perceptions of creaminess and liking for liquid dairy products. *Food Quality and Preference*.
- Risvik, E., McEwan, J. A., Colwill, J. S., Rogers, R., & Lyon, D. H. (1994). Projective mapping: A tool for sensory analysis and consumer research. *Food Quality and Preference*, *5*(4), 263–269.
- Roche, A., Perrot, N., Chabin, T., Villiere, A., Symoneaux, R., & Thomas-Danguin, T. (2017). How to predict the odor profile of wine from its chemical composition? In silico modelling using experts' knowledge, fuzzy logic and optimization. *International Symposium on Olfaction and Electronic Nose*.
- Roche, Alice. (2018). *Towards the improvement of food flavor analysis through the modelling of olfactometry data and expert knowledge integration*. Bourgogne Franche-Comté.
- Rodrigues, H., Ballester, J., Saenz-Navajas, M. P., & Valentin, D. (2015). Structural approach of social representation: Application to the concept of wine minerality in experts and consumers. *Food Quality and Preference*, *46*, 166–172.
- Rodrigues, H., Sáenz-Navajas, M.-P., Franco-Luesma, E., Valentin, D., Fernández-Zurbano, P., Ferreira, V., ... Ballester, J. (2017). Sensory and chemical drivers of wine minerality aroma: An application to Chablis wines. *Food Chemistry*, *230*, 553–562.
- Roininen, K., Arvola, A., & Lähteenmäki, L. (2006). Exploring consumers' perceptions of local food with two different qualitative techniques: Laddering and word association. *Food Quality and Preference*, *17*(1–2), 20–30.
- Romagny, S., Coureaud, G., & Thomas-Danguin, T. (2018). Key odorants or key associations? Insights into elemental and configural odour processing. *Flavour and Fragrance Journal*, *33*(1), 97–105.
- Rothman, L. (2007). The use of just-about-right (JAR) scales in food product development and reformulation. In *Consumer-Led Food Product Development* (pp. 407–433).
- Ruijschop, R. M. A. J., Boelrijk, A. E. M., Burgering, M. J. M., de Graaf, C., & Westerterp-Plantenga, M. S. (2009). Acute effects of complexity in aroma composition on satiation and food intake. *Chemical Senses*, *35*(2), 91–100.
- Russell, C. ., & Cox, D. . (2003). A computerised adaptation of the repertory grid methodology as a useful tool to elicit older consumers' perceptions of foods. *Food Quality and Preference*, *14*(8), 681–691.
- Saint-Eve, A., Paçi Kora, E., & Martin, N. (2004). Impact of the olfactory quality and chemical complexity of the flavouring agent on the texture of low fat stirred yogurts assessed by three different sensory methodologies. *Food Quality and Preference*, *15*(7–8), 655–668.
- Scander, H., Monteagudo, C., Nilsen, B., Tellström, R., & Yngve, A. (2018). Food and beverage dinner combinations, patterns among Swedish adults. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, *14*, 20–26.

- Schiffenstein, H.N.J. (1992). *Sensory interactions in mixtures of tastants*.
- Schiffenstein, Hendrik N J. (2010). From salad to bowl: The role of sensory analysis in product experience research. *Food Quality and Preference*, 21(8), 1059–1067.
- Schlich, P., Medel Maraboli, M., Urbano, C., & Parr, W. V. (2015). Perceived complexity in Sauvignon Blanc wines: influence of domain-specific expertise. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 21(2), 168–178.
- Schlich, Pascal. (1995). Preference mapping: relating consumer preferences to sensory or instrumental measurements. *Bioflavour 95*, Ed. INRA, Paris (Les Colloques, N°75).
- Schlich, Pascal, & McEwan, J. A. (1992). Cartographie des preferences -un outil statistique pour l'industrie agro-alimentaire. *Sciences Des Aliments*, 12, 339–355.
- Sidel, J., & Stone, H. (1983). Introduction to optimization research : definitions and objectives. *Food Technology*, 37(11), 36–38.
- Sieffermann, J. M.-. (2000). Le profil flash: un outil rapide et innovant d'évaluation sensorielle descriptive. *AGORAL 2000 - XIIème Rencontres " l'innovation: De l'idée Au Succès "*.
- Siegel, P. S., & Pilgrim, F. J. (1958). The effect of monotony on the acceptance of food. *The American Journal of Psychology*, 71(4), 756–759.
- Singleton, V. L., & Ouch, C. S. (1962). Complexity of Flavor and Blending of Wines. *Journal of Food Science*, 27(2), 189–196.
- Soerensen, J. G., Waehrens, S. S., & Byrne, D. V. (2015). Predicting and Understanding Long-Term Consumer Liking of Standard Versus Novel Chocolate: A Repeated Exposure Study. *Journal of Sensory Studies*, 30(5), 370–380.
- Solomon, G. E. A. (1990). Psychology of Novice and Expert Wine Talk. *The American Journal of Psychology*, 103(4), 495.
- Soufflet, I., Calonnier, M., & Dacremont, C. (2004). A comparison between industrial experts' and novices' haptic perceptual organization: a tool to identify descriptors of the handle of fabrics. *Food Quality and Preference*, 15(7–8), 689–699.
- Spence, C., & Piqueras-Fiszman, B. (2014). *The perfect meal: the multisensory science of food and dining (english edition)*. Wiley-Blackwell.
- Spence, C. (2018). Complexity on the menu and in the meal. *Foods*, Vol. 7.
- Spence, C., & Carvalho, F. M. (2019). Assessing the influence of the coffee cup on the multisensory tasting experience. *Food Quality and Preference*, Vol. 75, pp. 239–248.
- Spence, C, Piqueras-Fiszman, B., Michel, C., & Deroy, O. (2014). Plating manifesto (II): the art and science of plating. *Flavour*, 3(1).
- Spence, C, & Wang, Q. J. (2018a). On the Meaning(s) of Perceived Complexity in the Chemical Senses. *Chemical Senses*, 43(7), 451–461.
- Spence, C., & Wang, Q. J. (2018b). What does the term 'complexity' mean in the world of wine? *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 14, 45–54.

- Spence, Charles, Wang, Q. J., & Youssef, J. (2017). Pairing flavours and the temporal order of tasting. *Flavour*, 6(1), 4.
- Steck, L., & Machotka, P. (1975). Preference for musical complexity: Effects of context. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 1(2), 170–174.
- Stolzenbach, S., Bredie, W. L. P., Christensen, R. H. B., & Byrne, D. V. (2016). Understanding Liking in Relation to Sensory Characteristics, Consumer Concept Associations, Arousal Potential and “Appropriateness for Use” Using Apple Juice as an Application. *Journal of Sensory Studies*, 31(2), 135–142.
- Stone, H., Sidel, J., Oliver, S., Woolsey, A., & Singleton, R. C. (1974). Sensory evaluation by quantitative descriptive analysis. *Food Technology*, 8, 24–32.
- Streich, S. (2006). *Music complexity : a multi-faceted description of audio content*.
- Sulmont-Rossé, C., Chabanet, C., Issanchou, S., & Köster, E. P. (2008). Impact of the arousal potential of uncommon drinks on the repeated exposure effect. *Food Quality and Preference*, 19(4), 412–420.
- Sulmont, C. (2002). Selection of Odorants for Memory Tests on the Basis of Familiarity, Perceived Complexity, Pleasantness, Similarity and Identification. *Chemical Senses*, 27(4), 307–317.
- Sunarharum, W. B., Williams, D. J., & Smyth, H. E. (2014). Complexity of coffee flavor: A compositional and sensory perspective. *Food Research International*, 62, 315–325.
- Symoneaux, R., Galmarini, M. V., & Mehinagic, E. (2012). Comment analysis of consumer’s likes and dislikes as an alternative tool to preference mapping. A case study on apples. *Food Quality and Preference*, 24(1), 59–66.
- Szczesniak, A. S., & Kahn, E. L. (1984). Texture contrasts and combinations; a valued consumer attribute. *Journal of Texture Studies*, 15(3), 285–301.
- Talavera, M., & Chambers, E. (2017). Using sensory sciences help products succeed. *British Food Journal*.
- Tang, J., Larsen, D. S., Ferguson, L., & James, B. J. (2017). Textural Complexity Model Foods Assessed with Instrumental and Sensory Measurements. *Journal of Texture Studies*, 48(1), 9–22.
- Tang, J., Larsen, D. S., Ferguson, L. R., & James, B. J. (2016). The effect of textural complexity of solid foods on satiation. *Physiology & Behavior*, 163, 17–24.
- Tenenhaus, M., Pagès, J., Ambrosine, L., & Guinot, C. (2005). PLS methodology to study relationships between hedonic judgements and product characteristics. *Food Quality and Preference*, 16(4), 315–325.
- The Nielsen Company. (2015). We are what we eat. R
- Thomas-Danguin, T., Sinding, C., Romagny, S., El Mountassir, F., Atanasova, B., Le Berre, E., ... Coureaud, G. (2014). The perception of odor objects in everyday life: a review on the processing of odor mixtures. *Frontiers in Psychology*, 5.

- Thomas, A. (2016). *Analyse sensorielle temporelle descriptive et hédonique*. Université de Bourgogne Franche-Comté.
- Thomas, A., van der Stelt, A. J., Prokop, J., Lawlor, J. B., & Schlich, P. (2016). Alternating temporal dominance of sensations and liking scales during the intake of a full portion of an oral nutritional supplement. *Food Quality and Preference*, *53*, 159–167.
- Thomas, A., van der Stelt, A. J., Schlich, P., & Lawlor, J. Ben. (2018). Temporal drivers of liking for oral nutritional supplements for older adults throughout the day with monitoring of hunger and thirst status. *Food Quality and Preference*, *70*, 40–48.
- Thomson, D. (2010). Going beyond liking: measuring emotional and conceptual profiles to make better new products. In Jaeger S.R. & MacFie H. (Eds.), *Consumer-driven innovation in food and personal care products* (pp. 219–274). Woodhead Publishing Ltd.
- Tuorila, H. (2007). Sensory perception as a basis of food acceptance and consumption. In *Consumer-Led Food Product Development*.
- Vad Andersen, B., & Hyldig, G. (2015a). Consumers' view on determinants to food satisfaction. A qualitative approach. *Appetite*, *95*, 9–16.
- Vad Andersen, B., & Hyldig, G. (2015b). Food satisfaction: Integrating feelings before, during and after food intake. *Food Quality and Preference*, *43*, 126–134.
- Valentin, D., Chollet, S., Lelièvre, M., & Abdi, H. (2012, August). Quick and dirty but still pretty good: A review of new descriptive methods in food science. *International Journal of Food Science and Technology*, Vol. 47, pp. 1563–1578.
- van Bommel, R., Stieger, M., Boelee, N., Schlich, P., & Jager, G. (2019). From first to last bite: Temporal dynamics of sensory and hedonic perceptions using a multiple-intake approach. *Food Quality and Preference*, *78*, 103748.
- van Trijp, H. C. M., Punter, P. H., Mickartz, F., & Kruithof, L. (2007). The quest for the ideal product: Comparing different methods and approaches. *Food Quality and Preference*, *18*(5), 729–740.
- Varela, P., Antunez, L., Carlehog, M., Alcaire, F., Castura, J., Berget, I., ... Ares, G. (2017). What is dominance? An exploration of the concept in TDS tests with trained assessors and consumers. *Food Quality and Preference*.
- Varela, Paula, & Ares, G. (2012). Sensory profiling, the blurred line between sensory and consumer science. A review of novel methods for product characterization. *Food Research International*.
- Veinand, B., Godefroy, C., Adam, C., & Delarue, J. (2011). Highlight of important product characteristics for consumers. Comparison of three sensory descriptive methods performed by consumers. *Food Quality and Preference*, *22*(5), 474–485.
- Velasco, C., Jones, R., King, S., & Spence, C. (2013). Assessing the influence of the multisensory environment on the whisky drinking experience. *Flavour*, *2*(1), 23.
- Veramendi, M., Herencia, P., & Ares, G. (2013). Perfume Odor Categorization: To What Extent Trained Assessors and Consumers Agree? *Journal of Sensory Studies*, *28*(1), 76–89.

- Vickers, Z. (1988). Sensory specific satiety in lemonade using a just right scale for sweetness. *Journal of Sensory Studies*, 3(1), 1–8.
- Vidal, L., Ares, G., & Giménez, A. (2013). Projective techniques to uncover consumer perception: Application of three methodologies to ready-to-eat salads. *Food Quality and Preference*, 28(1), 1–7.
- Walker, E. L. (1980). *Psychological complexity and preference : a hedgehog theory of behavior*. Brooks/Cole Pub. Co.
- Wang, O., & Somogyi, S. (2018). Chinese consumers and shellfish: Associations between perception, quality, attitude and consumption. *Food Quality and Preference*, 66, 52–63.
- Wang, Q. J., & Spence, C. (2019). Is complexity worth paying for? Investigating the perception of wine complexity for single varietal and blended wines in consumers and experts. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 25(2), 243–251.
- Wang, Qian Janice, & Spence, C. (2018). Wine complexity: An empirical investigation. *Food Quality and Preference*, 68, 238–244.
- Weijzen, P. L. G. L. G., Zandstra, E. H. H., Alfieri, C., & de Graaf, C. (2008). Effects of complexity and intensity on sensory specific satiety and food acceptance after repeated consumption. *Food Quality and Preference*, 19(4), 349–359.
- Welker, W. I. (1956). Some determinants of play and exploration in chimpanzees. *Journal of Comparative and Physiological Psychology*, 49(1), 84–89.
- Williams, A. A., & 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(5), 558–568.
- Wilton, V., & Greenhoff, K. (1988). Integration of sensory techniques into market research. *Food Quality and Preference*, 1(1), 33–35.
- Withers, C., Barnagaud, C., Mehring, P., Ferris, S., & Thomson, D. M. H. (2016). Adapting and enhancing sequential profiling to understand the effects of successive ingestion, using the sensory characteristics of high intensity sweeteners as a case study. *Food Quality and Preference*, 47, 139–147.
- Worch, T., Lê, S., Punter, P., & Pagès, J. (2013). Ideal Profile Method (IPM): The ins and outs. *Food Quality and Preference*, 28(1), 45–59.
- Worch, T., & Punter, P. H. (2014). Ideal Profiling. In Paula Varela & G. Ares (Eds.), *Novel techniques in sensory characterization and consumer profiling*.
- Xing, J., & Manning, C. A. (2005). *Complexity and Automation Displays of Air Traffic Control: Literature Review and Analysis*.
- Zajonc, R. B. (1968). Attitudinal Effects of Mere Exposure. *Journal of Personality and Social*

Psychology, 9(2), 1–27.

Zellner, D. A., Lankford, M., Ambrose, L., & Locher, P. (2010). Art on the plate: Effect of balance and color on attractiveness of, willingness to try and liking for food. *Food Quality and Preference*, 21(5), 575–578.

Zorn, S., Alcaire, F., Vidal, L., Giménez, A., & Ares, G. (2014). Application of multiple-sip temporal dominance of sensations to the evaluation of sweeteners. *Food Quality and Preference*, 36, 135–143.

POSTERS



A critical review on the effect of complexity on consumers' preferences

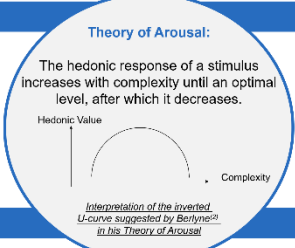
J. Palczak^{1,2}, S. Romagny¹, D. Blumenthal², M. Rogeaux¹, J. Delarue²

¹Sensory and Behavior Science Department, Danone Nutricia Research, France
²UMR1145 Ingénierie Procédés Aliments, AgroParisTech, INRA, Université Paris-Saclay, France

INTRODUCTION

Literature shows that there is a lot of determinants of consumer's preferences and food choice. Although it is rarely considered, sensory complexity is believed to be one intrinsic product factor that may influence behavior and food choice⁽¹⁾.

In art and aesthetic, Berlyne⁽²⁾ underlined the potential role of complexity on preferences according to his Theory of Arousal.



Research Question: Does the effect of complexity on consumer's preferences for food products fits with the Theory of Arousal?

Strategy: Through a review of different studies

- Investigate the effect of complexity on consumers' preferences in food and beverages;
- Confirm whether this relation fits with the Theory of Arousal, or gives different hypothesis if not.

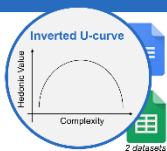
METHOD



We have explored for each dataset the relation between complexity and consumer's preferences. Available dataset includes generally means, standard deviations and significativities. We decided to gather all hedonic measures (liking, preference, etc.) as "hedonic value".

RESULTS

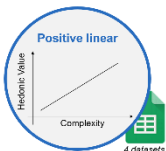
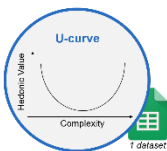
Case where Berlyne's theory has been verified



- Stimuli :** Pictures of 8 vegetables or 8 fruits
- Hedonic Value :** Visual preference measured by ranking (n=361)
- Definition of complexity :** "The more energy you spend to overview the picture of the mix, the more complex is"
- Measure of complexity :** Descriptive panel evaluation (n=10)



Cases where Berlyne's theory hasn't been verified



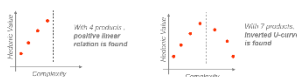
Why results are not consistent with the inverted U-curve ?

Hypothesis 1: The wide variety of definitions of complexity

- Physical: The number of components present in the stimulus
- Sensory: The number of aromas perceived or The harmony
- Cognitive: Difficulty to describe or Simplicity
- Emotional: The level of surprise

Hypothesis 2: The nature of stimuli

- Different modalities are studied : taste, olfaction and vision
- Products can be chosen for their complexity directly in the market or designed for
- Designed products can vary on other dimensions: adding one component to create complexity can act on other dimensions
- The number of stimuli can be too weak to reveal the whole curve:



Hypothesis 3: The wide variety of measures of complexity

- Different scales: [Scale diagram from 1 to 5]
- Different anchors: [Diagram showing anchors: 'Extremely simple / Easy to describe' vs 'Extremely complex / Difficult to describe']
- As an index of different sensory dimensions: [Diagram showing dimensions: Heterogeneity, Homogeneity, Complexity, Familiarity, Balance, Bitterness]

Hypothesis 4: Data analysis and individual differences

- Some factors influencing complexity perception as familiarity⁽⁵⁾ and expertise⁽⁶⁾, and it is not always considered
- Some authors use only linear correlation instead of quadratic model: [Comparison of linear and quadratic fits]
- Data are not analyzed at the individual level: [Comparison of aggregate vs individual data analysis]

CONCLUSION

A major outcome from this review is that there are **no consistent findings** about the relationship between complexity and consumer's preferences. Just **one paper on visual fits** with Berlyne's theory which **challenges the application of the inverted U-curve for food products as suggested by Berlyne⁽²⁾**. The major difference between a visual stimuli and a food stimuli is the **multi-modal aspect** that implies an important temporal aspect. Furthermore, current researches study the potential role of dynamic of sensations and its impact on consumers' preferences. Thus, **more research is needed to define and measure sensory complexity** for food products. One of our **future work will aim for an inclusion of temporal aspects** in the measure of sensory complexity for food products.

REFERENCES

(1) Köster, C.P. (2009). Diversity in the determinants of food choice: A psychological perspective, *Food Quality and Preference* 20, 75-82.
 (2) Berlyne, D.E. (1971). *Aesthetics and psychobiology* (Appleton-Century-Crofts).
 (3) Mielby, L.H., Kildegaard, F., Gabelsens, G., Edelenbos, M., and Thybo, A.K. (2012). Adolescent and adult visual preferences for pictures of fruit and vegetable mixes - Effect of complexity. *Food Quality and Preference* 26, 188-195.
 (4) Meillon, S., Viata, D., Medel, M., Urbano, C., Guillot, C., and Schlich, P. (2010). Impact of partial alcohol reduction in Syrah wine on perceived complexity and temporality of sensations and link with preference. *Food Quality and Preference* 21, 732-740.
 (5) Jellinek, J.S., and Köster, E.P. (1979). Perceived fragrance complexity and its relation to familiarity and pleasantness. *Journal of the Society of Cosmetic Chemists* 31, 33-37.
 (6) Pier, W.V., Mounet, M., Blackmore, S., Pelquest-Hunt, T., and Ursapilletta, I. (2011). Representation of complexity in wine: Influence of expertise. *Food Quality and Preference* 22, 847-860.

Contact
 Julie PALCZAK
 UMR1145 - HAP - AgroParisTech - FRANCE
 Danone Nutricia Research - FRANCE
 julie.palczak@danone.com

12th Pangborn Sensory Science Symposium
 Providence, Rhode Island, USA
 20-24 August 2017





From Consumption Behaviour to Sensory Measurement: Sensory characteristics of a full chocolate dessert experience

J. Palczak^{1,2}, J. Delarue², A.L. Pacaud¹, D. Blumenthal²

¹Sensory and Behavior Science Department, Danone Nutricia Research, France

²Ingénierie Procédés Aliments, AgroParisTech, INRA, Université Paris-Saclay, 91300, Massy, France

INTRODUCTION

In the past few years, a growing number of multi-layer, multi-texture, and multi-flavor products have emerged in the dairy dessert category. Capturing the **full sensory experience** that arises from the consumption of such products is a challenge and sensory methods need to be adapted to characterize these innovative products. Indeed, current sensory methods are not developed to characterize the entire food experience as an integrated whole (1).



Objective:

Develop a way to characterize the full sensory experience associated with heterogeneous deserts, from the first spoon to the last.

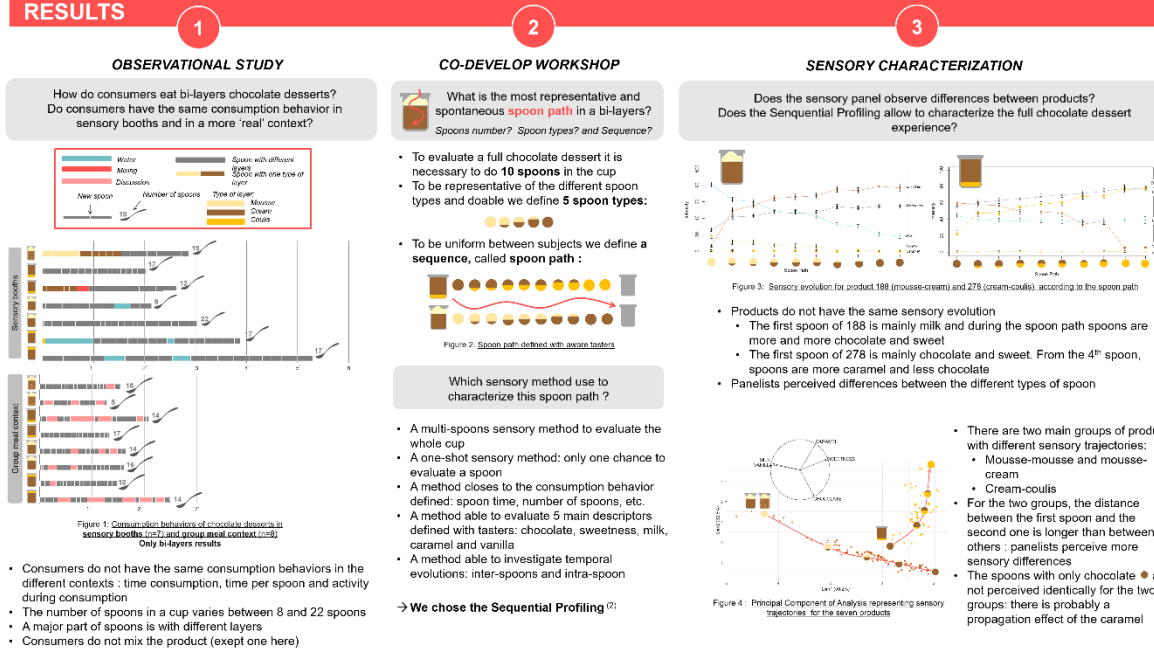
Strategy:

- **Observe** consumers to characterize consumption behaviors of multi-layers chocolate desserts and define the most representative way to eat these products;
- **Co-develop** with aware tasters a procedure to have a sensory characterization of bi-layers chocolate desserts integrating temporal aspects;
- **Characterize** products with a trained panel to understand the full sensory experience of bi-layers chocolate desserts.

METHOD



RESULTS



CONCLUSION

The **observational study** helped to understand the consumption behavior of multi-layer chocolate desserts. Subjects eat the products via 'multi-layers spoons' (except two subjects). They is a real difference between contexts and mainly regarding the time of consumption, the time per spoon and the activity during consumption. The **co-develop workshop** helped to define the spoon path composed of 10 spoons and 5 spoon types. The **Sequential Profiling** was defined as the best methodology to answer our objective. This procedure highlighted sensory evolutions between spoons and clustered our products in two main groups. Indeed, mousse-mousse and mousse-cream products have close sensory trajectories, whereas mousse-coulis products are essentially characterized by their caramel dominance. Hence, more research is required to analyze these complex data. One of our **future work** will be also to investigate the **intra-spoon temporal evolution and characterize the texture temporal evolution**.

REFERENCES

(1) Schifferstein, H. N. J. (2010). From salad to bowl: The role of sensory analysis in product experience research. *Food Quality and Preference*, 21(8), 1059–1067.
 (2) Miettinen, L., Rabeau, K., Economou, N., Kinneavy, L., Ladbrooke-Davis, L., Kennedy, O. B., ... Gosney, M. A. (2010). The effect of consumption volume on profile and liking of oral nutritional supplements of varied sweetness: sequential profiling and boredom tests. *Food Quality and Preference*, 21, 948–955.

Contact
 Julie PALCZAK
 UMRGENIAL - HAP - AgroParisTech - FRANCE
 Danone Nutricia Research - FRANCE
 julie.palczak@danone.com

Journées des Doctorants - ABIES
 Paris, France
 19-20 April 2018





Gourmet dairy desserts: influence of perceived complexity and sensory characteristics on preferences

J. Palczak^{1,2}, D. Blumenthal², M. Rogeaux¹, P. Montigaud³, J. Delarue²

¹Sensory and Behavior Science Department, Danone Nutricia Research, France

²UMR1145 Ingénierie Procédés Aliments, AgroParisTech, INRA, Université Paris-Saclay, France

³EUROFINS SAM Sensory and Marketing, France

INTRODUCTION

Understanding the determinants of consumers' preferences is crucial for successful product development. Sensory characteristics are often considered as important determinants. Otherwise, more and more subjective dimensions are also used with sensory characteristics to better understand preferences. According to Berlyne Theory (1), one of them is perceived complexity. Nevertheless, some papers challenged the influence of perceived complexity on preferences (2).

Objectives:

- ▶ Investigate the sensory characteristics and the complexity perceived of gourmet dairy desserts
- ▶ Explore the influence of perceived complexity and other sensory characteristics on consumers' preferences for gourmet dairy desserts

METHOD

PRODUCTS

7 commercial bi-layered desserts expressing different levels of complexity:

- Unflavored Sweetened*
- Caramel coulis
- Banana flavor
- Hazelnut pieces (hard)
- Cinnamon flavor
- Apple pieces (soft)
- Tiramisu flavor
- Cake pieces (soft)
- Coffee coulis

* The unflavored sweetened layer is identical in all bi-layered

CONSUMER TEST

Consumers: 145 consumers of gourmet dairy desserts

Design:

- Four following testing days
- Each consumer eat the full product before answering to the product questionnaire
- A USA questionnaire was filled by all consumers at the end of the 4th day.

Product questionnaire repeated for each product

Continuous scales | CATA | Agreement Scale | CATA | USA | ENO

SENSORY CHARACTERIZATION

Panelists: 13 trained panelists - 2 men and 11 women, (26-70 y.o.)

Experimental conditions:

- 12 training sessions / 8 evaluation sessions
- Data acquisition with RaDiLabs software

Method:

- Adapted Sequential Profiling (3)
- Unflavored sweetened: 2 types of spoonful are evaluated
- Bi-layered: 4 types of spoonful are evaluated

16 sensory descriptors are evaluated on a continuous scale

Products are evaluated in duplicated based on William Latin square

RESULTS

SENSORY CHARACTERISTICS OF THE SEVEN BI-LAYERED

- The first two components of the PCA of the sensory profiles capture 48% of the total variance, indicating the complex structure of these sensory experiences
- Sequential profiles give an overview of the dynamic of sensations between each type of spoonful (from S1 to S3) for each product.
- Thanks to hierarchical clustering on sensory results we observe eight groups of spoonfuls with close sensory characteristics
- Most of groups are composed of spoonfuls of the same product but, there are 2 exceptions:
 - Tiramisu S1 (○) is clustered with Coffee spoonfuls meaning that coffee aroma has infused in white mass but not cocoa nor biscuit aromas.
 - Some S1 spoonfuls are gathered in the same cluster (○) because of their thickness and dairy note but also because they are perceived sweeter than the unflavored sweetened spoonfuls (○).

Principal Component Analysis representing spoonfuls evaluated for each product. Spoonfuls in the same grey zone belong to the same group

CONSUMERS' PERCEPTION OF COMPLEXITY

- Consumers don't have the same perception of complexity for the 7 products
- Group 1: Coffee, Tiramisu and Hazelnut-Caramel bi-layered are perceived more complex than other products: The plain is perceived the less complex
- Group 2: Apple-Cinnamon and Plain are perceived the more complex – other products are perceived with a middle level of complexity
- Group 3: All products are perceived with a high level of complexity
- Group 4: Hazelnut-Caramel bi-layered is perceived more complex than other products
- Criteria to evaluate complexity are different from a coffee to another

Results of the hierarchical cluster analysis on raw complexity scores (k-means). Boxplot with different letters differ significantly (p<0.05, LSD test). Complexity criteria used by consumers with a significant mean impact

CONSUMERS' PREFERENCES

While groups were obtained on complexity scores, we observe that best-like products and rejected products are similar within each group

Boxplot on liking score for each groups. Products with different letters differ significantly (p<0.05, LSD test)

RELATIONSHIP BETWEEN SENSORY CHARACTERISTICS, PERCEIVED COMPLEXITY AND PREFERENCES

- For groups 1 and 2, the relationship between perceived complexity and appreciation can be represented as inverted U-cure (p<0.05), as predicted by Berlyne Theory
- For group 3 and 4, results are not aligned with Berlyne Theory. For group 3, no simple rotation was found. For group 4 a U-curve is observed between perceived complexity and appreciation (p<0.05).

Relationship	Group 1	Group 2	Group 3	Group 4
	Inverted U-curve	Inverted U-curve	No simple relation	U-curve
R ² (p-value)	0.68 (p=0.03)	0.65 (p=0.045)		0.58 (p=0.065)

Figure. "External Complexity Mapping" for the four groups (complexity x liking)

CONCLUSION

Adding a self-reported eating behavior question during the consumer test help us to define a representative pattern for the sensory methodology. The adapted Sequential Profiling reveals different sensory evolutions between products: sensory trajectories obtained are nearly linear from milky to the additional flavor of the dessert. Consumers don't perceived complexity in the same way: four groups of perception were identified with different criteria associated to complexity. It is surprising to note that within each group, preferences are also very similar. We observe that for 72 consumers the relationship between complexity and liking fits with the inverted U-curve proposed by Berlyne. Nevertheless for half of them, it doesn't fit (groups 3 and 4).

REFERENCES

- (1) Berlyne, D. E. (1971). Aesthetics and psychobiology. Appleton-Century-Crofts.
- (2) Palczak, J., Blumenthal, D., Rogeaux, M., & Delarue, J. (2019). Sensory complexity and its influence on hedonic responses: A systematic review of applications in food and beverages. Food Quality and Preference, 71, 66-75.
- (3) Palczak, J., Blumenthal, D., & Delarue, J. (2019). From consumption behaviour to sensory measurement: Sensory characterization of the perceived flavour complexity of a chocolate dessert experience. Food Quality and Preference, 78, 1037-34.































Contact
 Julie PALCZAK
 UMR1145 - IAP - AgroParisTech - FRANCE
 Danone Nutricia Research - FRANCE
 julie.palczak@danone.com

13th Pangborn Sensory Science Symposium
 Edinburgh, Scotland, UK
 28 July - 1 August 2019



ANNEXES

Annexe 1: Pictures of all verrines designed by the 10 chefs

	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	CC1	CC2	CC3	CC4	CC5
C-										
C										
C+										

Titre : La complexité sensorielle : définition, création et influence sur les préférences des consommateurs. Application aux desserts frais lactés

Mots clés : complexité sensorielle, préférences, desserts

Résumé : Dans le secteur agroalimentaire, mieux comprendre les préférences des consommateurs représente un enjeu majeur. En analyse sensorielle, les préférences des consommateurs sont généralement modélisées en fonction des caractéristiques sensorielles du produit, obtenues le plus souvent à l'aide de méthodes descriptives. Pour continuer à modéliser de manière efficace et pertinente des produits alimentaires toujours plus complexes et sophistiqués, tels que des desserts bicouches, les méthodologies usuelles doivent être adaptées et de nouvelles dimensions considérées. Au travers de cette thèse, nous avons choisi d'approfondir les connaissances sur la notion de complexité sensorielle : sa définition, sa mise en œuvre, sa mesure ainsi que son analyse. Une large étude bibliographique sur la complexité nous a permis de mettre en plusieurs propriétés clés : son caractère universel, hédonique, collatif, multimodal et polysémique. Cette étude nous a également permis d'établir des recommandations quant à la mesure et à l'analyse de cette notion. Par ailleurs, la complexité sensorielle étant largement employée pour décrire un vin ou un parfum par des experts de ces deux domaines, nous

avons également fait appel à des experts culinaires pour nous aider dans ce travail. Ainsi, une étude qualitative a été menée pour permettre d'affiner la définition ainsi que les stratégies de mise en œuvre de complexité sensorielle dans un produit alimentaire. Enfin, une étude consommateur quantitative a été réalisée dans le but de comprendre l'influence de la complexité sensorielle sur les préférences des consommateurs mettant en perspective la Théorie de Berlyne. D'un point de vue méthodologique, ce travail fournit également une nouvelle vision de l'analyse sensorielle, plus proche des comportements et des sensations perçues par le consommateur. En parallèle du développement accru des méthodologies temporelles ne reposant que sur l'étude d'une seule cuillère ou d'une seule bouchée, nous proposons d'avoir une approche sensorielle plus holistique. Après avoir observé plusieurs individus en situation réelle de consommation, nous avons choisi d'adapter le Profil Séquentiel afin de capturer l'évolution des sensations perçues au cours de la consommation d'une portion entière. Les profils sensoriels ainsi obtenus ont également contribué à identifier des caractéristiques sensorielles ayant une influence sur la perception de complexité.

Title : Sensory complexity : definition, design and influence on consumers' preferences. Application to fresh dairy dessert

Keywords : sensory complexity, preferences, desserts

Abstract : In the food industry, better understand consumers preferences is key. In sensory analysis, consumers preferences are generally explained with the sensory characteristics of the product, most of the time using descriptive methods. To be able to model preferences for more and more complex and sophisticated food products, like bi-layered desserts, in an efficient and relevant way, usual methodologies need to be adapted and new dimensions should be considered. In this thesis, we chose to deepen the knowledge on the notion of sensory complexity: its definition, its creation, its measurement and its analysis. An extensive state of the art on complexity allowed us to highlight some key properties about complexity: its universal, hedonic, collative, multimodal and polysemous properties. This study also allowed us to establish recommendations regarding the measurement of this notion. Otherwise, we observed that sensory complexity was largely used to describe wines and fragrances

by experts. Consequently, we decided to ask for culinary experts to help us in our project. Thus, a qualitative study was conducted to refine the definition of complexity and to determine principles to design food products mastering sensory complexity. A quantitative consumer study was finally carried out to investigate the influence of sensory complexity on consumers' preferences. From a methodological stand point, this work also provides a new vision about sensory methodologies, closer to a real consumer eating behavior. While more and more temporal methodologies are developed to study the sensory evolution inside a single spoon or a single bite, we propose to have a more holistic sensory approach. Based on an observational study, we decided to adapt the Sequential Profiling to capture the evolution of perceived sensations during the consumption of a whole portion. Furthermore, the sensory profiles obtained helped us to identify sensory characteristics that influence the perception of complexity.

