



**HAL**  
open science

# Transformations alimentaires industrielles, artisanales ou à domicile : quels impacts sur les qualités des produits et les perceptions par les consommateurs ?

Bastien Maurice

## ► To cite this version:

Bastien Maurice. Transformations alimentaires industrielles, artisanales ou à domicile : quels impacts sur les qualités des produits et les perceptions par les consommateurs ?. Sciences de l'ingénieur [physics]. Université paris saclay, 2022. Français. NNT : 2022UPAASB071 . tel-04485465

**HAL Id: tel-04485465**

**<https://hal.inrae.fr/tel-04485465>**

Submitted on 1 Mar 2024

**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.

# Transformations alimentaires industrielles, artisanales ou à domicile : quels impacts sur les qualités des produits et les perceptions par les consommateurs ?

*Industrial, artisanal or homemade food processing: what are the impacts  
on the qualities of the products and the perceptions of the consumers?*

## Thèse de doctorat de l'université Paris-Saclay

École doctorale n° 581,  
Agriculture, alimentation, biologie, environnement, santé (ABIES)  
Spécialité de doctorat : Génie des procédés  
Graduate School : Biosphera. Référent : AgroParisTech

Thèse préparée dans l'**UMR SayFood** (Université Paris-Saclay, INRAE, AgroParisTech),  
sous la direction d'**Isabelle SOUCHON**, Directrice de Recherche,  
la co-direction d'**Anne SAINT-EVE**, Maîtresse de Conférences (HDR),  
le co-encadrement d'**Aurélia PERNIN**, Ingénieure de Recherche

Thèse soutenue à Paris-Saclay, le 30 Novembre 2022, par

**Bastien MAURICE**

## Composition du Jury

Membres du jury avec voix délibérative

<b>Gilles FERON</b> Directeur de Recherche, INRAE (Bourgogne-Franche-Comté)	Président
<b>Catherine RENARD</b> Directrice de Recherche, INRAE (Pays de la Loire)	Rapporteur & Examinatrice
<b>Ronan SYMONEAUX</b> Chargé de Recherche (HDR), ESA Angers	Rapporteur & Examineur
<b>Véronique BRAESCO</b> Chercheuse, VAB-nutrition	Examinatrice

**Titre :** Transformations alimentaires industrielles, artisanales ou à domicile : quels impacts sur les qualités des produits et les perceptions par les consommateurs ?

**Mots clés :** cartographie multicritères, procédé, fait maison, pain de mie, pizza, naturalité

**Résumé :** La consommation de produits industriels transformés est aujourd'hui controversée. Pour étayer le débat, ce travail de thèse a porté sur la mise en place d'un indicateur de transformation (distance à la matière première) et sur le rôle des transformations alimentaires, réalisées dans différents contextes (industriel, artisanal, et domestique), sur les qualités des produits et les perceptions des consommateurs.

Deux modèles d'étude ont été choisis (pain de mie et pizza) et caractérisés par une approche multicritères.

Une forte variabilité intra-catégories a été montrée, à la fois sur des critères nutritionnels, technologiques (Process-Score), physicochimiques et sensoriels. Un décalage a pu être montré entre ces caractéristiques mesurées et l'image perçue par les consommateurs, notamment vis-à-vis des produits industriels.

Ces résultats montrent la nécessité de mieux communiquer autour de ces thèmes pour éclairer les consommateurs dans leurs choix.

**Title:** Industrial, artisanal or homemade food processing: what are the impacts on the qualities of the products and the perceptions of the consumers?

**Keywords:** multi-criteria mapping, process, homemade, soft bread, pizza, naturalness

**Abstract:** The consumption of processed industrial products is nowadays controversial. To support the debate, this PhD work focused on the implementation of a processing indicator (distance to raw material) and on the role of food processing, elaborated in different contexts (industrial, artisanal, and domestic), on product qualities and consumer perceptions.

Two study models were chosen (sandwich bread and pizza) and characterized by a multicriteria approach.

A strong intra-category variability was shown, both on nutritional, technological (Process-Score), physicochemical and sensory criteria. A discrepancy was shown between these measured characteristics and the image perceived by consumers, particularly with regard to industrial products.

These results show the need for better communication on these topics to enlighten consumers in their choices.

## A. REMERCIEMENTS

---

Ce travail n'aurait jamais été possible sans les nombreuses personnes qui sont intervenues, de près ou de loin, dans sa réalisation.

Je tiens tout d'abord à remercier Catherine RENARD et Ronan SYMONEAUX pour avoir accepté d'être les rapporteurs de cette thèse. Merci pour votre temps afin d'évaluer et de commenter ce manuscrit. Je souhaite également remercier Véronique BRAESCO pour sa participation au jury de thèse, ainsi que Gilles FERON pour en avoir accepté la présidence.

Je souhaite évidemment remercier Anne SAINT-EVE et Isabelle SOUCHON, pour m'avoir choisi dès le début et m'avoir donné la chance de travailler sur un sujet qui me passionne. Merci de m'avoir fait confiance et d'avoir fait en sorte de financer ce projet de thèse. Merci d'avoir été là pour me guider, de m'avoir permis d'évoluer au sein du laboratoire et de progresser sur le plan scientifique et humain. Évidemment, tout n'a pas toujours été facile, mais même avec la distance, nous avons quand même réussi à maintenir le contact et à avancer au mieux. J'espère avoir pu être à la hauteur des efforts que vous avez déployés pour moi. Merci Isabelle pour ta volonté de transmettre tes savoirs, et d'avoir su trouver les bonnes personnes quand c'était nécessaire pour nous débloquer et faire avancer le projet. Merci Anne pour toute ton expertise et ta faculté à rester positive en toutes circonstances ! Merci à Aurélia PERNIN de s'être jointe à l'encadrement de ma thèse, et merci pour tes remarques toujours pertinentes, notamment sur le volet chimie. Merci pour ton implication et ton soutien !

Je tiens également à remercier les membres de mon comité de suivi de thèse, Stéphane GEORGÉ, Pierrick GOMEZ et Nicolas DARCEL. Un grand merci pour votre temps, votre disponibilité et votre volonté de nous aider à améliorer ce travail.

Je remercie également l'INRAE ainsi que l'école doctorale ABIES pour avoir cru en ce projet de thèse, et en particulier à Alexandre PERY, Pierre LARRAUFIE, Corinne FIERS et Christine DUVAUX-PONTER pour leur implication.

Je remercie tous les stagiaires qui m'ont grandement aidé durant ma thèse : un énorme merci à Aude BRETTON, Émilie OUVRARD et Shuang HEI.

Je souhaite également remercier toutes les personnes avec qui j'ai eu la chance de collaborer. Merci à Nicolas GUINET, Hervé GUILLEMIN, Bruno PERRET, Louis-Georges SOLER et Olivier ALLAIS pour leur aide et disponibilité dans le cadre du projet Anatole, et mention spéciale à Pascal LEROY pour sa grande implication dans le développement de l'algorithme, et qui a également donné de son temps pour travailler avec moi sur les recettes des pains de mie. Je souhaite également remercier Mathilde TOUVIER, Emmanuelle KESSE-GUYOT et Chantal JULIA de l'Équipe de Recherche en Épidémiologie Nutritionnelle pour nos échanges intéressants sur le Process-Score. Un grand merci à Anne-Laure RÉGUERRE, Guy DELLA-VALLE et Hubert CHIRON de l'unité BIA de Nantes pour leur expertise sur le pain et l'analyse d'images.

Je remercie grandement toutes les personnes qui ont bien voulu prendre de leur temps pour participer à nos panels. Merci également à Eurosyn, et en particulier à Marion BEUGIN et Benoît QUELEN pour leur accueil et leur professionnalisme.



J'ai une pensée pour mes anciens collègues de l'équipe ADP, ainsi que ceux de la nouvelle équipe IHAC. Mister David FOREST, merci énormément pour ton aide et ta bonne humeur dès le début. Merci pour ton soutien infailible, et de toujours avoir été là pour m'aider et t'assurer que tout allait bien. Un merci tout particulier à Vincent MATHIEU, Marco RAMAIOLI, Lucy ESPINOSA et Thomas CATTENOZ pour votre temps et votre bienveillance. Merci à Anne-Claire PERON qui nous a accompagnés dans ce projet, et également aux autres membres de la plateforme analytique pour leur aide : Alice DANIEL, Brigitte POLLET et Pascale LIEBEN.

Merci à tous mes camarades doctorants pour tous ces bons moments : Rohit SRIVASTAVA, Pedro ARANA, Yohan REYNAUD, Mathieu MANTELET, Ana-Karen SANCHEZ, Maria TOVILLA, Thomas PAILLET, Adeline CORTESI, Carole LIECHTI, Florence DE FOUCHÉCOUR, Cynthia EL YOUSSEF, Yurixy BUGARIN, Phuong NGUYEN, Juan BUCETA, Thibault CARON, Amélie GIRARDEAU, Rémi LECANU, Gabriela ZANGHELINI, Thomas CHABIN, Phuong PHAM, Michèle BOU HABIB. Et bien évidemment, Audrey COSSON et Valentine CHARTREL, j'ai été très heureux de vous avoir comme collègues de bureau, merci de m'avoir accepté au sein de la team Roquette !

Plus généralement, je tiens à remercier l'ensemble des personnes qui ont constitué et/ou constituent ce labo : Michel SAVY (merci pour toute ton aide, tu es trop fort !), les gestionnaires d'unité Laurence FRUCHART, Anne BLIVET, Evelyne PHILIPPE et l'incroyable Thierry FEUGNET (merci pour tout !), la RonneBa, Jérôme BUSSIÈRE et Frédéric LECORNUE de l'atelier, Michard RAKOTOSON (le métronome du tennis, merci pour ces parties !), Camille QUENTIER, Benoît GÉNOT, Claire SAULOU-BÉRIION, Caroline PÉNICAUD, Cécilia ARNAUD, Miodrag GLUMAC, Eric DUGAT-BONY, Pauline CLAUS, Daniel PICQUE, Luidgi RÉSIDANT, Marwen MOUSSA, Steven LE FEUNTEUN, Sandra HELINCK, Anne-Sophie SARTHOU, Violaine ATHES, Sophie LANDAUD, Pascal BONNARME, Fernanda FONSECA, Stéphanie CENARD, Marie-Noëlle LECLERCQ-PERLAT, Françoise IRLINGER, Jérôme DELETTRE, Christophe MONNET, David BLUMENTHAL, Catherine BONAZZI et toutes les personnes qui ne sont pas citées ici, mais avec qui il est toujours plaisant de pouvoir échanger — même un petit bonjour.

Merci également au personnel de la cantine de Grignon pour leur bonne humeur au quotidien et leur aide pour nos expérimentations ! J'aimerais aussi remercier tous les bénévoles et membres de l'ADAS Grignon, merci aux pratiquants de badminton, futsal et basket pour ces parties !

J'ai également une pensée envers tous ceux qui m'ont fait progresser durant mon parcours, en particulier mes professeurs de BCPST, ainsi que ceux de l'Institut Agro Dijon. Je remercie également l'équipe de VAB-Nutrition pour leur encadrement. Je souhaite également remercier Charles HORN et son équipe pour m'avoir donné goût à la recherche et m'avoir encouragé à poursuivre sur cette voie.

J'aimerais remercier mes amis de longue date, qui ont toujours été là malgré les années : Antoine, Arnaud, Guillaume, Maxime, Hugues, Benoît, merci pour tout ! Pour finir, je tiens à remercier ma famille. Il est impossible de remercier comme il se doit mes parents pour tout leur soutien et les sacrifices qu'ils ont faits pour toujours me mettre dans les meilleures conditions — je sais à quel point je suis chanceux. Merci à ma sœur et Greg, ainsi qu'au beau Maxence pour le courage et la force que vous m'avez apportés ! Merci à ma Lulu, et merci à ma belle-famille pour tous ces bons moments.

## B. COMMUNICATIONS & VALORISATIONS

---

### Présentation orale en conférence

1. **Maurice B.**, Saint-Eve A., Ouvrard E., Pernin A., & Souchon I. O22.3: "What are the impacts of the food processing ways on the nutritional qualities of soft bread?" EFFoST, en ligne, 10-12 Novembre 2021

### Présentation de posters en conférence

1. **Maurice B.**, Saint-Eve A., Bretton A., Kesse-Guyot E., Julia C., Hercberg S., Touvier M., & Souchon I. P002 : "Calcul d'un score de transformation des aliments pour prendre en compte leur diversité et contribuer à mieux comprendre leurs effets sur la santé." Journées Francophones de Nutrition, Rennes, France, 27-29 Novembre 2019
2. **Maurice B.**, Saint-Eve A., Ouvrard E., Pernin A., & Souchon I. P012 : "Quel est l'impact du mode de transformation des aliments sur les qualités nutritionnelles du pain de mie ?" Journées Francophones de Nutrition, en ligne, 25-27 Novembre 2020

### Publications scientifiques

1. **Maurice B.**, Saint-Eve A., Pernin A., Leroy P., & Souchon I. (2022). How Different Are Industrial, Artisanal and Homemade Soft Breads? *Foods*, 11(10), 1484. [doi.org/10.3390/foods11101484](https://doi.org/10.3390/foods11101484)
2. **Maurice B.**, Souchon I., Pernin A., & Saint-Eve A. How differently are industrial, artisanal, and homemade soft breads perceived by consumers? (soumis à *Food Quality and Preference*)
3. Cortesi A., Colpaert M., Saint-Eve A., **Maurice B.**, Yannou-Le Bris G., Souchon I., & Pénicaud C. Contribution of consumer practices to the environmental impacts of pizzas. *Sustainable Production and Consumption*. 37, 26–38. [doi.org/10.1016/j.spc.2023.02.002](https://doi.org/10.1016/j.spc.2023.02.002)

## C. TABLE DES MATIÈRES

---

A.	REMERCIEMENTS .....	1
B.	COMMUNICATIONS & VALORISATIONS .....	3
C.	TABLE DES MATIÈRES .....	4
D.	LISTE DES FIGURES .....	8
E.	LISTE DES TABLEAUX .....	11
F.	LISTE DES ABRÉVIATIONS .....	12
	INTRODUCTION GÉNÉRALE.....	13
1	CHAPITRE 1. ÉTAT DE L'ART.....	20
1.1	LES TRANSFORMATIONS ALIMENTAIRES ET LES CARACTÉRISTIQUES ASSOCIÉES .....	20
1.1.1	<i>Quelques définitions.....</i>	20
1.1.2	<i>Historique des transformations alimentaires.....</i>	23
1.1.3	<i>Les services rendus par les transformations alimentaires et les risques potentiels associés .....</i>	27
1.1.3.1	Les services rendus par les transformations alimentaires.....	30
1.1.3.2	Les risques associés aux transformations alimentaires.....	32
1.1.4	<i>Les différents modes de transformation.....</i>	37
1.1.4.1	Définitions existantes : artisanal, fait maison et industriel .....	37
1.1.4.2	Distinction entre mode de transformation et lieux de production et de vente.....	40
1.1.5	<i>Impact des modes de transformation sur les qualités des produits .....</i>	40
1.1.5.1	Comparaison des recettes .....	44
1.1.5.2	Comparaison des propriétés nutritionnelles .....	44
1.1.5.3	Comparaison des propriétés physico-chimiques .....	45
1.1.5.4	Comparaison des microbiomes des aliments .....	46
1.1.5.5	Comparaison des propriétés organoleptiques .....	47
1.2	CLASSIFICATION DU DEGRÉ DE TRANSFORMATION DES ALIMENTS .....	48
1.2.1	<i>Présentation de différentes classifications existantes.....</i>	48
1.2.1.1	NIPH .....	50
1.2.1.2	IARC-EPIC.....	50
1.2.1.3	NOVA.....	50
1.2.1.4	IFPRI .....	51
1.2.1.5	IFIC .....	52
1.2.1.6	FSANZ .....	52
1.2.1.7	USP .....	53
1.2.1.8	UNC .....	53
1.2.1.9	SIGA.....	54
1.2.2	<i>Robustesse et complexité d'application de ces classifications.....</i>	56
1.2.2.1	Le manque d'informations disponibles.....	56
1.2.2.2	Des règles et descriptions imprécises et qui parfois se contredisent.....	57
1.2.2.3	Consensus entre les différentes classifications .....	58
1.2.2.4	Autres critiques .....	61
1.3	ÉTIQUETAGE ET INFORMATION DES CONSOMMATEURS .....	64
1.3.1	<i>L'étiquetage nutritionnel obligatoire .....</i>	64
1.3.2	<i>L'étiquetage obligatoire des ingrédients de la recette .....</i>	67
1.3.3	<i>Les labels et mentions .....</i>	68
1.3.4	<i>Les informations en lien avec la transformation.....</i>	70
1.3.5	<i>Les informations en lien avec les opérations de transformation et la formulation .....</i>	71
1.4	PERCEPTIONS DES CONSOMMATEURS .....	72
1.4.1	<i>Les différentes perceptions des consommateurs .....</i>	72
1.4.1.1	Perceptions des modes de transformation .....	73
1.4.1.2	Perceptions de la transformation.....	73
1.4.1.3	Perceptions de la naturalité.....	74
1.4.1.4	Perceptions en lien avec la santé .....	77
1.4.1.5	Les motivations derrière ces perceptions .....	77

1.4.2	<i>Impact de l'information sur les perceptions des consommateurs</i> .....	78
1.5	QUESTIONS ET STRATÉGIE DE RECHERCHE .....	82
1.5.1	<i>Questions de recherche</i> .....	82
1.5.2	<i>Stratégie de recherche</i> .....	82
<b>2</b>	<b>CHAPITRE 2. CARACTÉRISATION ET COMPARAISON DES MODES DE TRANSFORMATION</b> .....	<b>85</b>
2.1	CARACTÉRISATION DU DEGRÉ DE TRANSFORMATION ALIMENTAIRE : LE PROCESS-SCORE .....	86
2.1.1	<i>Objectifs</i> .....	86
2.1.2	<i>Méthodologie détaillée</i> .....	86
2.1.2.1	Hypothèses et choix méthodologiques.....	86
2.1.2.2	Barème complet des opérations unitaires .....	89
2.1.2.3	Les modèles alternatifs testés.....	97
2.1.2.4	Mise en place d'un outil de calcul des Process-Scores et automatisation.....	97
2.1.2.5	Estimation des recettes : l'outil Anatole® .....	98
2.1.3	<i>Mise en application du Process-Score</i> .....	98
2.1.3.1	Exemples des Process-Scores pour des familles de produits industriels.....	98
2.1.3.2	Process-Scores des aliments de la base de données NutriNet-Santé.....	99
2.1.3.3	Quels liens entre Process-Score, Nutri-Score et données nutritionnelles ? .....	101
2.1.3.4	Quels liens entre le Process-Score et les autres scores existants (NOVA) ? .....	102
2.1.4	<i>Validation de la méthodologie</i> .....	103
2.1.5	<i>Forces et limites du Process-Score</i> .....	107
2.1.5.1	Forces du Process-Score .....	107
2.1.5.2	Limites du Process-Score .....	107
2.1.6	<i>Pistes d'amélioration possibles</i> .....	108
2.2	CARTOGRAPHIES DE PRODUITS INDUSTRIELS .....	110
2.2.1	<i>Introduction</i> .....	111
2.2.2	<i>Materials and methods</i> .....	112
2.2.2.1	Data collection of the products for each product category.....	112
2.2.2.2	Recipe information and calculation of the missing proportions .....	112
2.2.2.3	Nutritional values and calculation of the Nutri-Score.....	112
2.2.2.4	Evaluation of the processing degree.....	113
2.2.2.5	Statistical analysis.....	114
2.2.3	<i>Results</i> .....	115
2.2.3.1	Industrial soft breads.....	115
2.2.3.2	Industrial pizzas.....	124
2.2.4	<i>Discussion</i> .....	128
2.2.4.1	Variability among food groups .....	128
2.2.4.2	From simple to complex food products .....	129
2.2.4.3	Limitations of the study .....	130
2.2.5	<i>Conclusion</i> .....	131
2.3	IMPACT DU MODE DE TRANSFORMATION SUR LES PROPRIÉTÉS DU PAIN DE MIE.....	133
2.3.1	<i>Introduction</i> .....	134
2.3.2	<i>Materials and methods</i> .....	136
2.3.2.1	Industrial, artisanal, and homemade soft bread.....	136
2.3.2.2	Recipes & technological data .....	140
2.3.2.3	Nutritional data.....	141
2.3.2.4	Characterization of the physical properties of soft bread.....	142
2.3.2.5	Characterization of the chemical properties of soft bread.....	143
2.3.2.6	Statistical analysis.....	146
2.3.3	<i>Results and discussion</i> .....	146
2.3.3.1	Recipes and technological data .....	146
2.3.3.2	Nutritional comparison.....	148
2.3.3.3	Physical properties .....	149
2.3.3.4	Comparison of the volatile profiles of soft bread crumb .....	150
2.3.4	<i>Conclusion</i> .....	161
<b>3</b>	<b>CHAPITRE 3. COMPRENDRE LES PERCEPTIONS ET LES PRÉFÉRENCES DES CONSOMMATEURS</b> .....	<b>165</b>
3.1	COMPRENDRE LES PRÉFÉRENCES ET PERCEPTIONS DES CONSOMMATEURS POUR LES PAINS DE MIE ET COMMENT CELA EST INFLUENCÉ PAR L'INFORMATION .....	166
3.1.1	<i>Introduction</i> .....	167

3.1.2	<i>Materials and methods</i> .....	169
3.1.2.1	Industrial, artisanal and homemade soft bread .....	169
3.1.2.2	Experimental conditions of the consumer study .....	173
3.1.2.3	Questionnaires.....	174
3.1.2.4	Statistical analysis.....	175
3.1.3	<i>Results</i> .....	176
3.1.3.1	Sensory evaluation of the soft breads in blind conditions .....	176
3.1.3.2	Influence of nutritional and processing information .....	182
3.1.3.3	Ability of the panel to identify the type of soft bread.....	186
3.1.4	<i>Discussion</i> .....	187
3.1.4.1	Perceptions of naturalness and food processing.....	187
3.1.4.2	Perceptions of nutritional quality.....	189
3.1.4.3	Impact of the informational flyers.....	189
3.1.4.4	Selection and specificities of the product type.....	191
3.1.5	<i>Conclusion</i> .....	192
3.2	IMPACT DU MODE DE TRANSFORMATION SUR LES ATTENTES DU CONSOMMATEUR : EXEMPLE DE LA PIZZA .....	195
3.2.1	<i>Introduction</i> .....	196
3.2.2	<i>Materials and methods</i> .....	197
3.2.2.1	Panel of participants.....	197
3.2.2.2	Questionnaire .....	200
3.2.2.3	Statistical analysis.....	201
3.2.3	<i>Results</i> .....	201
3.2.3.1	Considerations for different processing methods .....	201
3.2.3.2	Particularities of pizza compared to a generic food product.....	205
3.2.3.3	Distinguishing different profiles of consumers.....	209
3.2.3.4	Discriminant analysis .....	210
3.2.4	<i>Discussion</i> .....	212
3.2.4.1	Choice of food model .....	212
3.2.4.2	Consumer priorities.....	213
3.2.4.3	Methodology.....	214
3.2.5	<i>Conclusion</i> .....	215
3.3	INFLUENCE DU MODE DE PRÉPARATION DES PIZZAS SUR LES PRÉFÉRENCES ET PERCEPTIONS DU CONSOMMATEUR .....	217
3.3.1	<i>Introduction</i> .....	218
3.3.2	<i>Materials and methods</i> .....	220
3.3.2.1	Industrial, assembled, and homemade pizzas.....	220
3.3.2.2	Experimental conditions .....	220
3.3.2.3	Statistical analysis.....	222
3.3.3	<i>Results</i> .....	223
3.3.3.1	Preparation of the pizzas .....	223
3.3.3.2	Overall liking and preferences.....	226
3.3.3.3	Sensory characteristics of the pizzas .....	227
3.3.3.4	Perceptions of the nutritional characteristics of pizzas .....	228
3.3.3.5	Perceptions of the degree of transformation.....	228
3.3.3.6	Other perceptions .....	229
3.3.4	<i>Discussion</i> .....	229
3.3.4.1	Preference for homemade pizzas.....	229
3.3.4.2	Healthiness perception.....	231
3.3.4.3	Processing perception .....	232
3.3.4.4	Eco-friendly perception .....	232
3.3.4.5	Home use test .....	232
3.3.5	<i>Conclusion</i> .....	233
<b>4</b>	<b>CHAPITRE 4. DISCUSSION GÉNÉRALE.....</b>	<b>235</b>
4.1	COMPARAISON DES MESURES OBJECTIVES ET SUBJECTIVES .....	235
4.1.1	<i>Les perceptions des consommateurs sont-elles en accord avec les mesures objectives dans le cas des pains de mie ?.....</i>	<i>235</i>
4.1.2	<i>Les perceptions des consommateurs sont-elles en accord avec les mesures objectives dans le cas des pizzas ?.....</i>	<i>237</i>
4.1.3	<i>Comment aller plus loin ?.....</i>	<i>239</i>
4.2	COMPARAISON DES PRODUITS ET DE LEURS MODES DE PRÉPARATION .....	240

4.2.1	<i>Choix du produit et particularités.....</i>	240
4.2.2	<i>Modes de préparation dépendant des produits.....</i>	241
4.3	QUELLES INFORMATIONS AFFICHER POUR LES CONSOMMATEURS ?.....	242
4.4	RECOMMANDATIONS À FORMULER.....	245
4.4.1	<i>Recommandations pour les industriels.....</i>	245
4.4.2	<i>Recommandations pour les consommateurs.....</i>	245
4.4.3	<i>Recommandations pour les pouvoirs publics.....</i>	246
<b>5</b>	<b>CONCLUSION GÉNÉRALE ET PERSPECTIVES .....</b>	<b>248</b>
<b>G.</b>	<b>RÉFÉRENCES .....</b>	<b>250</b>
<b>H.</b>	<b>LISTE DES FIGURES SUPPLÉMENTAIRES .....</b>	<b>292</b>
<b>I.</b>	<b>LISTE DES TABLEAUX SUPPLÉMENTAIRES .....</b>	<b>293</b>
<b>J.</b>	<b>FIGURES SUPPLÉMENTAIRES .....</b>	<b>294</b>
<b>K.</b>	<b>TABLEAUX SUPPLÉMENTAIRES.....</b>	<b>314</b>

## D. LISTE DES FIGURES

<b>FIGURE 1.</b> CONTRIBUTION MASSIQUE DES ALIMENTS À LA DIÈTE DES ENFANTS ET DES ADULTES EN FRANCE, SELON LEUR MODE DE PRÉPARATION (ARTISANAL, FAIT MAISON OU INDUSTRIEL) (ANSES, 2017B).	13
<b>FIGURE 2.</b> ÉVOLUTION AU FIL DES ANS DES 20 MOTS LES PLUS CITÉS POUR RÉPONDRE À LA QUESTION « QU'EST-CE QU'UNE ALIMENTATION DE QUALITÉ ? » (D'APRÈS (TAVOULARIS ET AL., 2007; HÉBEL, 2021)).	14
<b>FIGURE 3.</b> ÉVOLUTION DANS LE TEMPS DE LA PROPORTION D'ADULTES (> 20 ANS) (A) EN SURPOIDS ET (B) OBÈSES DANS DIFFÉRENTES RÉGIONS, STANDARDISÉE PAR ÂGE (CHOOI ET AL., 2019).	15
<b>FIGURE 4.</b> CONTRIBUTION DES ALIMENTS FORTEMENT TRANSFORMÉS (EN %) AUX APPORTS MOYENS TOTAUX DE 26 NUTRIMENTS, APRÈS AJUSTEMENT EN FONCTION DU SEXE, DE L'ÂGE, DE L'ÉNERGIE, DE LA TAILLE, DU POIDS, DE LA SAISON ET DU JOUR DE LA SEMAINE (SLIMANI ET AL., 2009).	16
<b>FIGURE 5.</b> APPORT ÉNERGÉTIQUE TOTAL PROVENANT DES ALIMENTS ULTRA-TRANSFORMÉS ET TAUX D'OBÉSITÉ PAR PAYS (CRIMARCO ET AL., 2022).	17
<b>FIGURE 6.</b> DIAGRAMME DE FABRICATION SIMPLIFIÉ DE DIFFÉRENTS YAOURTS, PRÉSENTANT LES DIFFÉRENTES OPÉRATIONS UNITAIRES NÉCESSAIRES À LA FABRICATION.	21
<b>FIGURE 7.</b> LES DIFFÉRENTES INTERACTIONS ENTRE PROCÉDÉS ET PROPRIÉTÉS DE L'ALIMENT (VAN MIL ET AL., 2014).	23
<b>FIGURE 8.</b> FRISE ILLUSTRANT LE DÉVELOPPEMENT DES MÉTHODES DE TRANSFORMATION DES ALIMENTS, AVEC QUELQUES EXEMPLES SAILLANTS DE PRODUITS ALIMENTAIRES (RENARD, 2022).	24
<b>FIGURE 9.</b> COMPLÉMENTARITÉ ENTRE PREMIÈRE ET DEUXIÈME TRANSFORMATIONS POUR PROPOSER DES ALIMENTS TRANSFORMÉS MULTIPLES ET COMPLEXES.	25
<b>FIGURE 10.</b> LES PRINCIPAUX BÉNÉFICES ET RISQUES ENCOURUS POUR LA SANTÉ DES CONSOMMATEURS SUITE AUX TRANSFORMATIONS ALIMENTAIRES.	29
<b>FIGURE 11.</b> EXEMPLES DES PRINCIPAUX PROCÉDÉS DE CONSERVATION DES ALIMENTS, SELON LEURS MODES D'ACTION.	30
<b>FIGURE 12.</b> POSSIBLES MÉCANISMES EXPLICATIFS DES ASSOCIATIONS ENTRE CONSOMMATION D'ALIMENTS ULTRA-TRANSFORMÉS ET RISQUES DE MALADIES CHRONIQUES (SROUR ET AL., 2022).	33
<b>FIGURE 13.</b> REPRÉSENTATION SCHÉMATIQUE DE LA RÉACTION DE MAILLARD (PROST ET AL., 2012).	34
<b>FIGURE 14.</b> ILLUSTRATION DU LOGO « FAIT MAISON » EN FRANCE.	39
<b>FIGURE 15.</b> UN EXEMPLE DE COOKIE EMBALLÉ, VENDU COMME ARTISANAL ET FAIT MAISON.	40
<b>FIGURE 16.</b> CLASSIFICATION SIGA <sup>®</sup> ET REPRÉSENTATION DES NEUF GROUPES AVEC DES EXEMPLES ET LEURS PARTICULARITÉS (DAVIDOU ET AL., 2021).	55
<b>FIGURE 17.</b> ARBRE DE DÉCISIONS PERMETTANT DE DÉTERMINER SI UN ALIMENT EST PROBABLEMENT FAIT MAISON (BLEIWEISS-SANDE ET AL., 2020).	57
<b>FIGURE 18.</b> RÉPARTITION DE 135 CATÉGORIES D'ALIMENTS DANS LES DIFFÉRENTS DEGRÉS DE TRANSFORMATION POUR SIX SYSTÈMES DE CLASSIFICATION (CRINO ET AL., 2017).	59
<b>FIGURE 19.</b> LES DIFFÉRENTES DIMENSIONS INTÉGRÉES DANS LES SYSTÈMES DE CLASSIFICATION DES ALIMENTS SELON LEUR NIVEAU DE TRANSFORMATION (SOUCHON & BRAESCO, 2022).	61
<b>FIGURE 20.</b> EXEMPLES DE PRODUITS CATÉGORISÉS SELON LE SYSTÈME NOVA ET LES CHANGEMENTS QUI SERAIENT OPÉRÉS (FLÈCHES ROUGES) DU POINT DE VUE DES TECHNOLOGUES ALIMENTAIRES (PETRUS ET AL., 2021).	63
<b>FIGURE 21.</b> EXEMPLE DES INFORMATIONS PRÉSENTES SUR UN PAIN DE MIE NATURE : (A) ÉTIQUETAGE NUTRITIONNEL, (B) LISTE DES INGRÉDIENTS.	65
<b>FIGURE 22.</b> MÉTHODOLOGIE DE CALCUL DU NUTRI-SCORE.	67
<b>FIGURE 23.</b> LOGOS DE DIFFÉRENTS SIGNES DE LA QUALITÉ (SIQO) : IGP, AOP, AOC, STG AGRICULTURE BIOLOGIQUE, LABEL ROUGE ET LE LOGO PRODUIT CERTIFIÉ.	69
<b>FIGURE 24.</b> HEATMAPS PRÉSENTANT LES PROCÉDÉS CONSIDÉRÉS COMME (A) LES PLUS ET (B) LES MOINS NATURELS POUR 1 290 AMÉRICAINS À PARTIR (C) D'UN DIAGRAMME GÉNÉRIQUE DE TRANSFORMATION (LUSK, 2019B).	74
<b>FIGURE 25.</b> PRINCIPALES DIMENSIONS ASSOCIÉES À LA NATURALITÉ DES ALIMENTS POUR LES CONSOMMATEURS (ROMÁN ET AL., 2017).	76
<b>FIGURE 26.</b> EFFET D'UNE ALLÉGATION DE NATURALITÉ SUR DIFFÉRENTES PERCEPTIONS ASSOCIÉES ET L'INTENTION D'ACHAT (BERRY ET AL., 2017).	81
<b>FIGURE 27.</b> DÉMARCHE POUR RÉPONDRE AUX QUESTIONS DE RECHERCHE.	83
<b>FIGURE 28.</b> RÉPARTITION DES 80 OPÉRATIONS UNITAIRES EN 5 GRANDES CATÉGORIES, ET 12 SOUS-CATÉGORIES. LE NOMBRE D'OPÉRATIONS UNITAIRES PAR GRANDE CATÉGORIE EST PRÉCISÉ ENTRE PARENTHÈSES.	88
<b>FIGURE 29.</b> EXEMPLE DE CALCUL DU PROCESS-SCORE D'UNE PIZZA SURGELÉE.	89
<b>FIGURE 30.</b> BOXPLOTS DES PROCESS-SCORES DE DIFFÉRENTES CATÉGORIES DE PRODUITS INDUSTRIELS.	99
<b>FIGURE 31.</b> BOXPLOTS DES PROCESS-SCORES POUR LES PRINCIPALES CATÉGORIES D'ALIMENTS DE LA BASE DE DONNÉES DE L'ÉTUDE	

NUTRINET-SANTÉ. ....	100
<b>FIGURE 32.</b> PROCESS-SCORE DES ALIMENTS DE LA BASE DE DONNÉES NUTRINET-SANTÉ (N = 1 494) EN FONCTION DE LEUR CATÉGORIE NOVA ET DE LEUR NUTRI-SCORE. ....	102
<b>FIGURE 33.</b> CONFRONTATION ENTRE LES PROCESS-SCORES ET LES CLASSEMENTS D'EXPERT DE FROMAGES SELON LEURS DEGRÉS DE TRANSFORMATION. LES ÉTOILES JAUNES REPRÉSENTENT LES DISCORDANCES MAJEURES. LES FROMAGES EN ROUGE SONT CEUX PEU CONNUS DE L'EXPERT. ....	104
<b>FIGURE 34.</b> EFFETS ÉLÉMENTAIRES SUR LES PROCESS-SCORES DE 379 PIZZAS DE VARIATIONS DES NOTES DES OPÉRATIONS UNITAIRES. ....	105
<b>FIGURE 35.</b> OCCURRENCES MAJORITAIRES POUR LE CALCUL DES PROCESS-SCORES DES ALIMENTS DE LA BASE DE DONNÉES NUTRINET-SANTÉ : (A) POUR LES CATÉGORIES D'OPÉRATIONS UNITAIRES, (B) POUR LES OPÉRATIONS UNITAIRES. ....	106
<b>FIGURE 36.</b> METHOD FOR CALCULATING THE PROCESS-SCORE.....	114
<b>FIGURE 37.</b> EXAMPLE OF THE CALCULATION OF THE PROCESS-SCORE FOR A GENERIC SOFT BREAD, ACCORDING TO ITS RECIPE AND LISTING THE GENERAL UNIT OPERATIONS. ....	114
<b>FIGURE 38.</b> (A) REPRESENTATION OF THE CORRELATIONS AMONG THE DIFFERENT VARIABLES FOR THE 282 SOFT BREADS THROUGH A PRINCIPAL COMPONENT ANALYSIS (F1 + F2 = 48.08%). (B) BIPLLOT OF THE 282 SOFT BREADS, DISPLAYED BY TYPE, WITH 95% CONFIDENCE ELLIPSES. .	120
<b>FIGURE 39.</b> NUTRITIONAL CHARACTERISTICS AND PROCESS-SCORES FOR THE SOFT BREADS (N = 282) AND PIZZAS (N = 380). ....	121
<b>FIGURE 40.</b> (A) REPRESENTATION OF THE CORRELATIONS AMONG THE DIFFERENT VARIABLES FOR THE 107 PLAIN SOFT BREADS THROUGH A PRINCIPAL COMPONENT ANALYSIS (F1 + F2 = 40.13%). ACTIVE VARIABLES ARE IN RED, SUPPLEMENTARY VARIABLES ARE IN BLUE. (B) BIPLLOT OF THE 107 SOFT BREADS, DISPLAYED FOR ORGANIC AND CONVENTIONAL, WITH 95% CONFIDENCE ELLIPSES. ....	123
<b>FIGURE 41.</b> (A) REPRESENTATION OF THE CORRELATIONS AMONG THE DIFFERENT VARIABLES FOR THE 380 PIZZAS THROUGH A PRINCIPAL COMPONENT ANALYSIS (F1 + F2 = 57.29%). ACTIVE VARIABLES ARE IN RED, SUPPLEMENTARY VARIABLES ARE IN BLUE. (B) BIPLLOT OF THE 380 PIZZAS, WITH 95% CONFIDENCE ELLIPSES. ....	127
<b>FIGURE 42.</b> LINEAR REGRESSIONS OF THE PROCESS-SCORES ACCORDING TO THE ENERGY DENSITY FOR THE SOFT BREADS (IN BLUE) AND PIZZAS (IN GREEN), RESPECTIVELY.....	129
<b>FIGURE 43.</b> EXAMPLES OF A PRODUCTION DIAGRAM FOR INDUSTRIAL, ARTISANAL, AND HOMEMADE SOFT BREADS, LISTING THE GENERAL UNIT OPERATIONS FOR EACH. ....	141
<b>FIGURE 44.</b> NUTRITIONAL COMPARISON OF THE THREE PROCESSING METHODS. (A) SUGAR AND SATURATED FAT CONTENT; (B) RAYNER'S NUTRITIONAL QUALITY SCORE. ....	149
<b>FIGURE 45.</b> REPRESENTATION OF THE CORRELATIONS AMONG THE DIFFERENT VOLATILE MOLECULES IN THE 24 SOFT BREADS THROUGH A PRINCIPAL COMPONENT ANALYSIS (F1 + F2 = 63.24%) OF AREAS UNDER THE CURVE. (A) REPRESENTATION OF 46 VOLATILE MOLECULES, SEPARATED INTO CHEMICAL FAMILIES AND LABELED ACCORDING TO THEIR MEAN RETENTION TIME IN TABLE 16; (B) BIPLLOT OF THE 24 SOFT BREADS, DISPLAYED BY PROCESSING METHOD, WITH 95% CONFIDENCE ELLIPSES. ....	159
<b>FIGURE 46.</b> MULTIPLE FACTORIAL ANALYSIS (F1 + F2 = 35.89%). (A) REPRESENTATION OF THE CORRELATIONS AMONG THE DIFFERENT VARIABLES QUANTIFIED IN EACH TYPE OF ANALYSIS (NUTRITIONAL = RAYNER, TOTAL FAT, SATURATED FAT, TOTAL CARBOHYDRATE, SUGAR, FIBERS, PROTEINS, SALT; PHYSICAL = DENSITY, F <sub>MAX</sub> , PERCENTAGE OF RELAXATION, YOUNG'S MODULUS, L*, A*, B*, WATER CONTENT; CHEMICAL = 46 VOLATILE MOLECULES (TABLE 16), REPRESENTED BY THEIR NINE CHEMICAL FAMILIES; TECHNOLOGICAL = PROCESS-SCORE, NUMBER OF INGREDIENTS, NUMBER OF ADDITIVES—WITH THE SAME WEIGHT FOR EACH OF THE FOUR GROUPS); (B) BIPLLOT OF THE 24 SOFT BREADS IN THIS REPRESENTATION, PRESENTED ACCORDING TO PROCESSING METHOD. ....	161
<b>FIGURE 47.</b> CROSS-SECTIONAL SLICES OF THE SIX SOFT BREADS (SHOWN AT THE SAME SCALE), OBTAINED BY SCANNING UNDER IDENTICAL CONDITIONS (EPSON GT-1500, 600 DPI). ....	170
<b>FIGURE 48.</b> EXAMPLE OF AN INFORMATIONAL FLYER, HERE FOR THE H_P22 SOFT BREAD. ....	173
<b>FIGURE 49.</b> FREQUENCY OF SOFT BREAD CONSUMPTION, ACCORDING TO ITS ORIGIN, FOR THE 65 PARTICIPANTS CONSUMING SOFT BREAD AT LEAST TWICE A WEEK. ....	174
<b>FIGURE 50.</b> LIKING SCORES AND PERCEIVED DEGREE OF PROCESSING (MEAN VALUES ± STANDARD DEVIATION) OF SIX SOFT BREADS FROM THREE DIFFERENT PROCESSING METHODS, EXPRESSED BY 65 JUDGES. (A) LIKING SCORE, ON A SCALE FROM 1 (EXTREMELY BAD) TO 7 (EXTREMELY GOOD), IN THE BLIND TASTING AND (B) AFTER RECEIVING INFORMATION ON THE PROCESSING AND NUTRITIONAL ASPECTS OF THE BREAD. (C) PERCEIVED DEGREE OF PROCESSING ON A CONTINUOUS SCALE FROM 0 (LITTLE PROCESSED) TO 10 (ULTRA-PROCESSED), IN THE BLIND TASTING AND (D) AFTER RECEIVING INFORMATION ON THE PROCESSING AND NUTRITIONAL ASPECTS OF THE BREAD. ....	177
<b>FIGURE 51.</b> NORMALIZED COEFFICIENTS OF THE MOST IMPORTANT VARIABLES OBTAINED FROM THE PLS REGRESSION (Q <sup>2</sup> = 0.635) OF THE PERCEIVED DEGREE OF PROCESSING BY THE 65 PARTICIPANTS. ....	182
<b>FIGURE 52.</b> EXPRESSED DEGREE OF ACCORDANCE FOR 65 PARTICIPANTS WHEN ASKED ABOUT THE NATURALNESS OF SIX SOFT BREADS FROM THREE DIFFERENT PROCESSING METHODS (INDUSTRIAL IN PURPLE, ARTISANAL IN BLUE, HOMEMADE IN GREEN), BEFORE AND AFTER THE PRESENTATION OF NUTRITIONAL AND PROCESSING INFORMATION. ....	188
<b>FIGURE 53.</b> MEAN FREQUENCY OF PIZZA CONSUMPTION BY ORIGIN, DECLARED BY 1,000 PANELISTS. ....	200



<b>FIGURE 54.</b> DEGREE OF ATTENTION GIVEN BY CONSUMERS TO DIFFERENT CONSIDERATIONS WHEN BUYING A FOOD PRODUCT, ON A SCALE FROM 1 (STRONGLY DISAGREE) TO 5 (STRONGLY AGREE). (A) FOR A GENERIC FOOD PRODUCT, ALL PROCESSING METHODS TOGETHER. (B) FOR A PIZZA, ALL PROCESSING METHODS TOGETHER (I.E., B IS THE MEAN OF C, D, E, AND F). (C) FOR AN INDUSTRIAL PIZZA. (D) FOR AN ARTISANAL PIZZA. (E) FOR A HOMEMADE PIZZA. (F) FOR A PIZZA BOUGHT IN A RESTAURANT.	204
<b>FIGURE 55.</b> PERCEIVED DEGREE OF PROCESSING OF DIFFERENT TYPES OF PIZZA AS RATED BY 1,000 PANELISTS ON A DISCRETE SCALE FROM 1 (MINIMALLY PROCESSED) TO 5 (ULTRA-PROCESSED).	209
<b>FIGURE 56.</b> MEAN DEGREE OF ACCORDANCE WITH THE IMPORTANCE OF DIFFERENT CONSIDERATIONS WHEN BUYING PIZZA (MEAN VALUES FOR INDUSTRIAL, ARTISANAL, HOMEMADE, AND RESTAURANT, WHEN AVAILABLE) IN THE PANEL AS A WHOLE, AND FOR EACH CLUSTER OF PARTICIPANTS.	210
<b>FIGURE 57.</b> DISCRIMINANT ANALYSIS OF THE DEGREE OF ATTENTION PAID BY 1,000 PARTICIPANTS TO 11 CONSIDERATIONS WHEN BUYING AND CONSUMING A PIZZA (F1 + F2 = 87.85%). (A) REPRESENTATION OF THE CORRELATIONS AMONG THE VARIABLES. (B) BIPLLOT OF THE BARYCENTER FOR THE FOUR PROCESSING METHODS, WITH 95% CONFIDENCE ELLIPSES.	211
<b>FIGURE 58.</b> FREQUENCY OF PIZZA CONSUMPTION, DEPENDING ON ITS ORIGIN, FOR THE 69 PARTICIPANTS.	221
<b>FIGURE 59.</b> OVERALL LIKING SCORES FOR THE DIFFERENT PIZZAS TASTED (MEAN VALUES $\pm$ STANDARD DEVIATION) BY THE 69 PARTICIPANTS.	226
<b>FIGURE 60.</b> TYPE OF PIZZA THE PARTICIPANTS WOULD PREPARE AGAIN IF THEY HAD TO EAT A PIZZA (N = 69).	227
<b>FIGURE 61.</b> MOTIVES FOR CHOOSING THE NEXT PIZZA THEY WOULD PREPARE (CF. FIGURE 60).	227
<b>FIGURE 62.</b> PERCEIVED DEGREE OF TRANSFORMATION OF THE PIZZAS, BEFORE AND AFTER COOKING IT.	229
<b>FIGURE 63.</b> DEGREE OF AGREEMENT TO DIFFERENT ASSERTIONS ABOUT HOMEMADE PIZZAS.	230
<b>FIGURE 64.</b> AVERAGE OF THE FINAL RANKINGS GIVEN BY THE 69 PARTICIPANTS AFTER HAVING CONSUMED ALL SIX PIZZAS.	231
<b>FIGURE 65.</b> (A) REPRÉSENTATION DES CORRÉLATIONS ENTRE LES 38 VARIABLES ÉTUDIÉES, ORGANISÉES EN SIX GROUPES DE VARIABLES, POUR LES 6 PAINS DE MIE ÉTUDIÉS, PAR UNE ANALYSE FACTORIELLE MULTIPLE (F1 + F2 = 61,66%). (B) BIPLLOT DES 6 PAINS DE MIE.	236
<b>FIGURE 66.</b> (A) REPRÉSENTATION DES CORRÉLATIONS ENTRE LES 26 VARIABLES ÉTUDIÉES, ORGANISÉES EN CINQ GROUPES DE VARIABLES, POUR LES 6 PIZZAS ÉTUDIÉES, PAR UNE ANALYSE FACTORIELLE MULTIPLE (F1 + F2 = 85,58%). (B) BIPLLOT DES 6 PIZZAS.	238
<b>FIGURE 67.</b> EXEMPLE DE DIFFÉRENTS SYSTÈMES D'ÉTIQUETAGE NUTRITIONNELS APPLIQUÉS AUX PIZZAS (EGNELL ET AL., 2018).	243
<b>FIGURE 68.</b> PROTOTYPE D'AFFICHAGE SYNTHÉTIQUE D'ÉTIQUETAGE NUTRITIONNEL PRÉSENTÉ PAR L'EREN.	244

## E. LISTE DES TABLEAUX

---

<b>TABLEAU 1.</b> PRINCIPALES OPÉRATIONS UNITAIRES CLASSIQUES DU GÉNIE DES PROCÉDÉS ALIMENTAIRES (BIMBENET, 1998). .....	21
<b>TABLEAU 2.</b> TENEURS EN ACRYLAMIDE EN $\mu\text{G} \cdot \text{KG}^{-1}$ DANS DIFFÉRENTS PRODUITS (EFSA, 2015).....	34
<b>TABLEAU 3.</b> CONCENTRATIONS EN HYDROXYMETHYLFURFURAL DANS DIFFÉRENTS ALIMENTS SELON LE PROCÉDÉ EMPLOYÉ (ARSHAD ET AL., 2021). .....	35
<b>TABLEAU 4.</b> PANORAMA DES PRINCIPALES DIFFÉRENCES MISES EN AVANT PAR LES ÉTUDES AYANT COMPARÉ DIFFÉRENTS MODES DE TRANSFORMATION .....	41
<b>TABLEAU 5.</b> PARTICULARITÉS DES PRINCIPALES CLASSIFICATIONS DES ALIMENTS SELON LEUR DEGRÉ DE TRANSFORMATION. ....	49
<b>TABLEAU 6.</b> TOLÉRANCES POUR LES VALEURS NUTRITIONNELLES ÉTIQUETÉES, INCERTITUDE DE MESURE COMPRISE. ....	66
<b>TABLEAU 7.</b> CATALOGUE DES 80 OPÉRATIONS UNITAIRES, DÉFINIES ET RASSEMBLÉES EN 5 GRANDES CATÉGORIES ET 12 SOUS-CATÉGORIES, AVEC LEURS NOTES FINALES. ....	90
<b>TABLEAU 8.</b> CORRÉLATIONS ENTRE LE PROCESS-SCORE ET LES VARIABLES NUTRITIONNELLES ET LIÉES À LA TRANSFORMATION.....	101
<b>TABLE 9.</b> COMPARISON OF THE 282 SOFT BREADS WITH RESPECT TO THE DIFFERENT STUDIED VARIABLES, ANALYZED ACCORDING TO THE SOFT BREAD TYPE AND WHETHER IT IS ORGANIC OR NOT, WITH A KRUSKAL–WALLIS TEST. ....	116
<b>TABLE 10.</b> SPEARMAN’S CORRELATION COEFFICIENTS BETWEEN THE 16 STUDIED VARIABLES, FOR THE 380 PIZZAS AND THE 282 SOFT BREADS. ....	117
<b>TABLE 11.</b> COMPARISON OF THE 107 PLAIN SOFT BREADS WITH RESPECT TO THE DIFFERENT STUDIED VARIABLES, ANALYZED ACCORDING TO THE PRESENCE OF CRUST AND WHETHER IT IS ORGANIC OR NOT, WITH A KRUSKAL–WALLIS TEST. ....	122
<b>TABLE 12.</b> COMPARISON OF THE 380 PIZZAS WITH RESPECT TO THE DIFFERENT STUDIED VARIABLES, ANALYZED ACCORDING TO THE STORAGE TYPE AND THE PIZZA RECIPE WITH A KRUSKAL–WALLIS TEST. ....	125
<b>TABLE 13.</b> DETAILED RECIPES FOR THE SOFT BREADS OF INDUSTRIAL, ARTISANAL, AND HOMEMADE ORIGINS USED IN THIS STUDY. ..	137
<b>TABLE 14.</b> STATISTICAL COMPARISON OF THE DIFFERENT TESTED VARIABLES (UNITS IN PARENTHESES) AMONG THE THREE PROCESSING METHODS. ....	144
<b>TABLE 15.</b> COMPARISON OF THE SIX VOLATILE MOLECULES TESTED WITH THE STANDARD ADDITION METHOD (CONCENTRATION IN $\mu\text{G} \cdot \text{KG}^{-1}$ ) AMONG THE THREE PROCESSING METHODS.....	151
<b>TABLE 16.</b> AREAS UNDER THE CURVE OF THE INTENSITY-RETENTION TIME PLOT ((MEAN $\pm$ STANDARD DEVIATION). $10^3$ ) FOR THE 46 VOLATILE MOLECULES THAT DEMONSTRATED SIGNIFICANT DIFFERENCES AMONG PROCESSING METHODS. ....	153
<b>TABLE 17.</b> DETAILS OF THE RECIPES, PROCESSING INFORMATION AND NUTRITIONAL VALUES FOR THE SIX SELECTED SOFT BREADS. ..	171
<b>TABLE 18.</b> COMPARISON OF THE SOFT BREADS WITH RESPECT TO THE DIFFERENT VARIABLES EVALUATED BY 65 CONSUMERS, ANALYZED ACCORDING TO PROCESSING METHOD WITH A NESTED TWO-WAY ANOVA (VARIABLE = PROCESSING METHOD + BREAD(PROCESSING METHOD) + ERROR) ON DATA COLLECTED (A) BEFORE AND (B) AFTER IDENTIFYING INFORMATION WAS PRESENTED. ....	178
<b>TABLE 19.</b> EFFECT OF THE INFORMATIONAL FLYER ON THE DIFFERENT VARIABLES EVALUATED BY THE 65 PARTICIPANTS FOR (A) ALL SOFT BREADS PRODUCED BY ALL PRODUCTION METHODS, (B) BY INDUSTRIAL METHODS, (C) BY ARTISANAL METHODS, AND (D) BY HOMEMADE METHODS.....	183
<b>TABLE 20.</b> (A) ASSUMPTIONS BY THE PARTICIPANTS (N=65) CONCERNING THE PROCESSING METHOD OF BREADS, REPRESENTED IN PROPORTIONS OF THE TOTAL PANEL. (B) ACCORDANCE AMONG THE 65 PANELISTS IN THEIR IDENTIFICATION OF THE PROCESSING METHOD OF THE SOFT BREADS, EXPRESSED BY FLEISS’ K. ....	187
<b>TABLE 21.</b> SOCIO-DEMOGRAPHIC CHARACTERISTICS OF THE 1,000 FRENCH PANELISTS (IN % OF THE PANEL).....	197
<b>TABLE 22.</b> COMPARISON OF THE PROCESSING METHODS WITH RESPECT TO THE DIFFERENT VARIABLES INVESTIGATED. (A) FOR A GENERIC FOOD PRODUCT. (B) FOR PIZZA.....	206
<b>TABLE 23.</b> EFFECT OF THE TYPE OF FOOD PRODUCT ON THE RESPONSES FROM THE 1,000 PARTICIPANTS. ....	207
<b>TABLE 24.</b> CONFUSION MATRIX OF THE DISCRIMINANT ANALYSIS OF THE DEGREE OF ATTENTION PAID BY 1,000 PARTICIPANTS TO 11 CONSIDERATIONS WHEN BUYING AND CONSUMING A PIZZA (F1 + F2 = 87.85%) DISPLAYED IN FIGURE 57. ....	212
<b>TABLE 25.</b> SOCIO-DEMOGRAPHIC CHARACTERISTICS OF THE 69 FRENCH PANELISTS. ....	221
<b>TABLE 26.</b> COMPARISON OF THE SIX PIZZAS WITH RESPECT TO DIFFERENT VARIABLES EVALUATED BY 69 CONSUMERS, ANALYZED ACCORDING TO PREPARATION METHOD. ....	224

## F. LISTE DES ABRÉVIATIONS

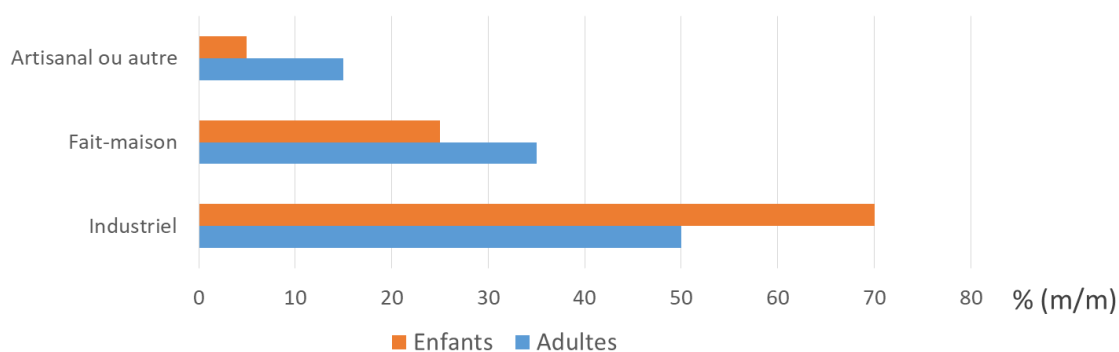
---

**AB**: Agriculture biologique  
**AESA**: Autorité européenne de sécurité des aliments  
**AFM**: Analyse factorielle multiple  
**ANSES**: Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail  
**AOC**: Appellation d'origine contrôlée  
**AOP**: Appellation d'origine protégée  
**CAH**: Classification ascendante hiérarchique  
**CMR**: Cancérogène, mutagène et reprotoxique  
**DDM**: Date de durabilité minimale  
**DGCCRF**: Direction générale de la concurrence, de la consommation et la répression des fraudes  
**DLC**: Date limite de consommation  
**EFSA**: European food safety authority  
**FAO**: Food and agriculture organization of the United Nations  
**FSA**: Food standards agency  
**FSANZ**: Food standards Australia New Zealand  
**HACCP**: Hazard analysis critical control point  
**HENI**: Health nutritional index  
**IARC**: International agency for research on cancer  
**IFIC**: International food information council  
**IFPRI**: International food policy research institute  
**IGP**: Indication géographique protégée  
**IMC**: Indice de masse corporelle  
**INSEE**: Institut national de la statistique et des études économiques  
**LCA**: Life cycle analysis  
**LC-QTOF-MS**: Liquid chromatography quadrupole time-of-flight mass spectrometry  
**MUP**: Markers of ultra-processing (marqueurs de l'ultra-transformation)  
**NIPH**: National institute of public health in Mexico  
**OGM**: Organisme génétiquement modifié  
**OMS**: Organisation mondiale de la santé  
**PLS**: Partial least squares  
**PME**: Petites et moyennes entreprises  
**PNNS**: Programme national nutrition santé  
**RASFF**: Rapid alert system for food and feed  
**RR**: Risque relatif  
**SFA**: Saturated fatty acids (Acides gras saturés)  
**SIQO**: Signe officiel d'identification de la qualité et de l'origine  
**STG**: Spécialité traditionnelle garantie  
**UHT**: Ultra haute température  
**UNC**: University of North Carolina  
**UNESCO**: United Nations educational, scientific and cultural organization  
**VIP**: Variable importance of projection

## INTRODUCTION GÉNÉRALE

---

La place des produits alimentaires industriels transformés dans la diète n'a cessé d'augmenter ces dernières décennies, en accord avec les contraintes des modes de vie contemporains. En effet, les évolutions des arbitrages entre le temps passé au travail, aux loisirs et aux tâches ménagères ont conduit à la fois à une réduction du temps de préparation des repas et à une réduction de la part du budget alimentation des foyers (Etilé & Plessz, 2018). La recherche de praticité, de rapidité de préparation, de bas prix tout en maintenant un goût apprécié par les consommateurs, explique l'évolution concomitante des consommations et de l'offre. En France, en 2017, les produits alimentaires industriels représentaient en termes de masse 50% de la diète des adultes et 70% de celle des enfants (ANSES, 2017b) (**Figure 1**). Les lieux d'achat varient également de plus en plus pour aller de moins en moins vers le « fait maison ». Si on regarde l'exemple des pizzas, en 2015, 51% étaient vendues en restaurants et pizzerias, 15% en restauration collective, 24% en grande distribution et 10% en food trucks (BFM Business, 2016). Bien évidemment, ces répartitions peuvent changer, par exemple avec des épisodes particuliers tels qu'un confinement qui, dans le cas de la COVID-19, a largement augmenté la proportion de produits faits à la maison (Deschasaux-Tanguy et al., 2021).



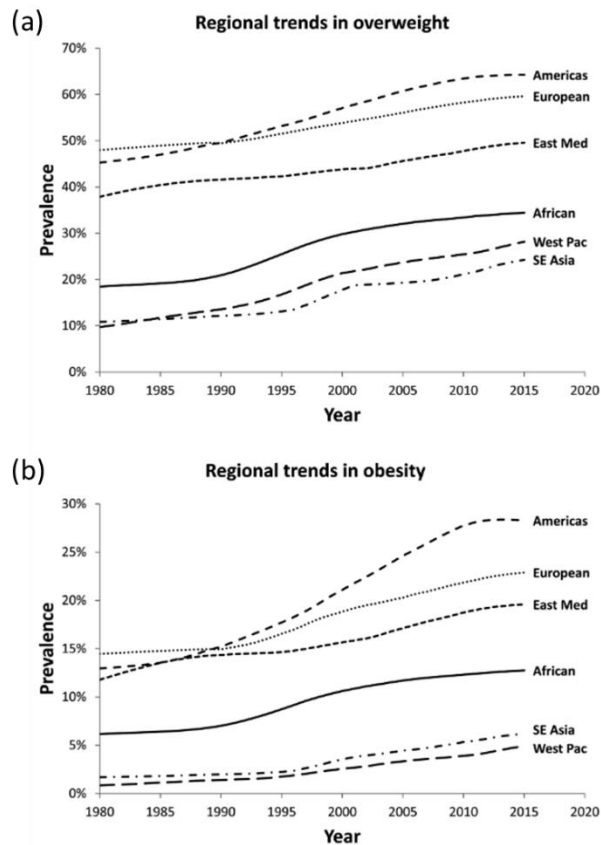
**Figure 1.** Contribution massique des aliments à la diète des enfants et des adultes en France, selon leur mode de préparation (artisanal, fait maison ou industriel) (ANSES, 2017b).

Paradoxalement, cette hausse de la consommation d'aliments industriels s'accompagne d'attentes de la part des consommateurs vers des produits plus naturels, locaux et frais, comme le montrent au fil des ans les mots clés les plus cités sur les critères que les consommateurs associent à une alimentation de qualité (**Figure 2**). Cela montre bien une dualité entre la consommation montante des produits transformés et la recherche de produits naturels, locaux et sains par les consommateurs (Schleifer & DeSoucey, 2015).



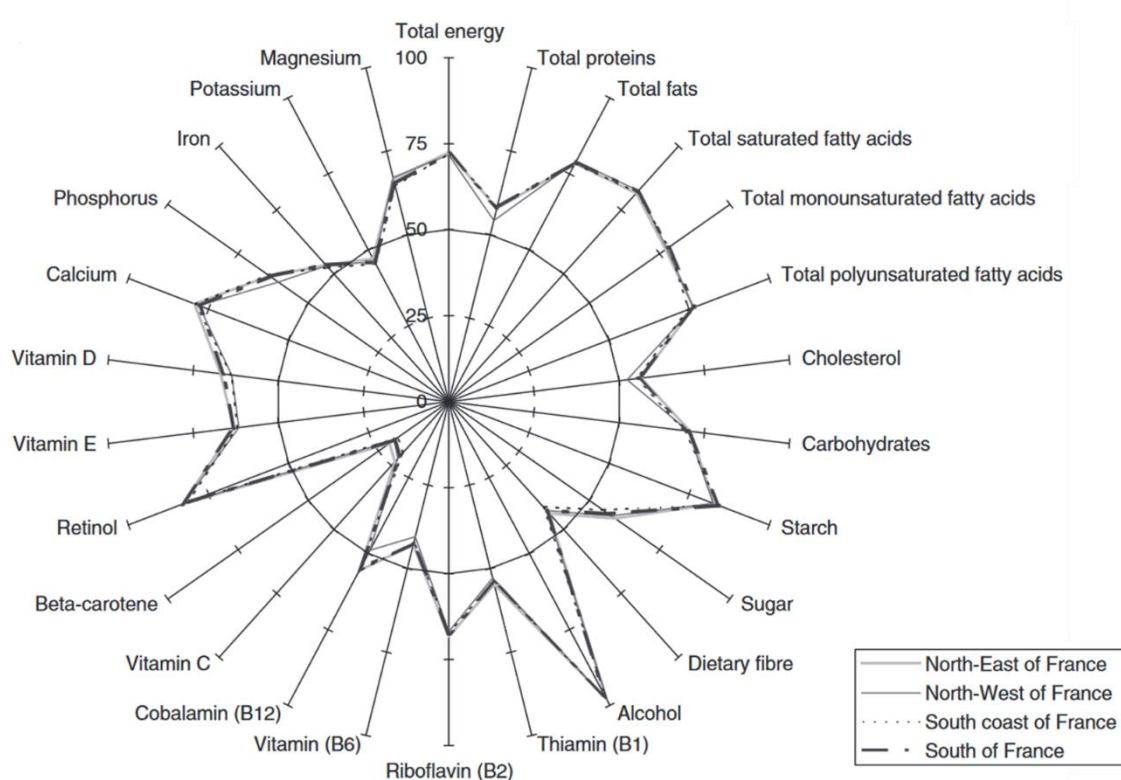
**Figure 2.** Évolution au fil des ans des 20 mots les plus cités pour répondre à la question « Qu'est-ce qu'une alimentation de qualité ? » (d'après (Tavoularis et al., 2007; Hébel, 2021)).

Parallèlement aux changements des régimes alimentaires et des modes de vie, en France comme dans de nombreux pays industrialisés, un constat peut être fait sur une croissance de l'obésité et du surpoids qui touche aujourd'hui aussi bien les adultes que les enfants (**Figure 3**) (Chooi et al., 2019). En effet, les chiffres de 2015 présentaient 12% d'adultes et 5% d'enfants obèses (Matta et al., 2018), autrement dit pour les adultes un indice de masse corporelle (IMC, égal à la masse divisée par la taille au carré de l'individu) supérieur ou égal à  $30 \text{ kg.m}^{-2}$ , selon les critères de l'Organisation mondiale de la santé (OMS). Pour la France, il y aurait en 2015 environ 15% d'adultes obèses pour presque 4% d'enfants obèses (6-17 ans), avec près de la moitié des adultes et 17% des enfants en surpoids ou obèses (Matta et al., 2018).



**Figure 3.** Évolution dans le temps de la proportion d'adultes (> 20 ans) (a) en surpoids et (b) obèses dans différentes régions, standardisée par âge (Chooi et al., 2019).

Les causes de l'obésité peuvent être multiples : environnementales, sociales, génétiques, nutritionnelles, comportementales (activité physique, comportement alimentaire...) (Hruby et al., 2016), ce qui en fait un enjeu de santé publique particulièrement compliqué à gérer. En moyenne, les aliments industriels (i.e., issus de l'industrie agro-alimentaire) représentent la majorité de ce que nous mangeons : ils sont responsables de la majorité de nos apports en macronutriments (avec notamment plus de 70% de l'énergie totale), tout en contribuant également aux apports en vitamines et minéraux (Figure 4) (Slimani et al., 2009).



**Figure 4.** Contribution des aliments fortement transformés (en %) aux apports moyens totaux de 26 nutriments, après ajustement en fonction du sexe, de l'âge, de l'énergie, de la taille, du poids, de la saison et du jour de la semaine (Slimani et al., 2009).

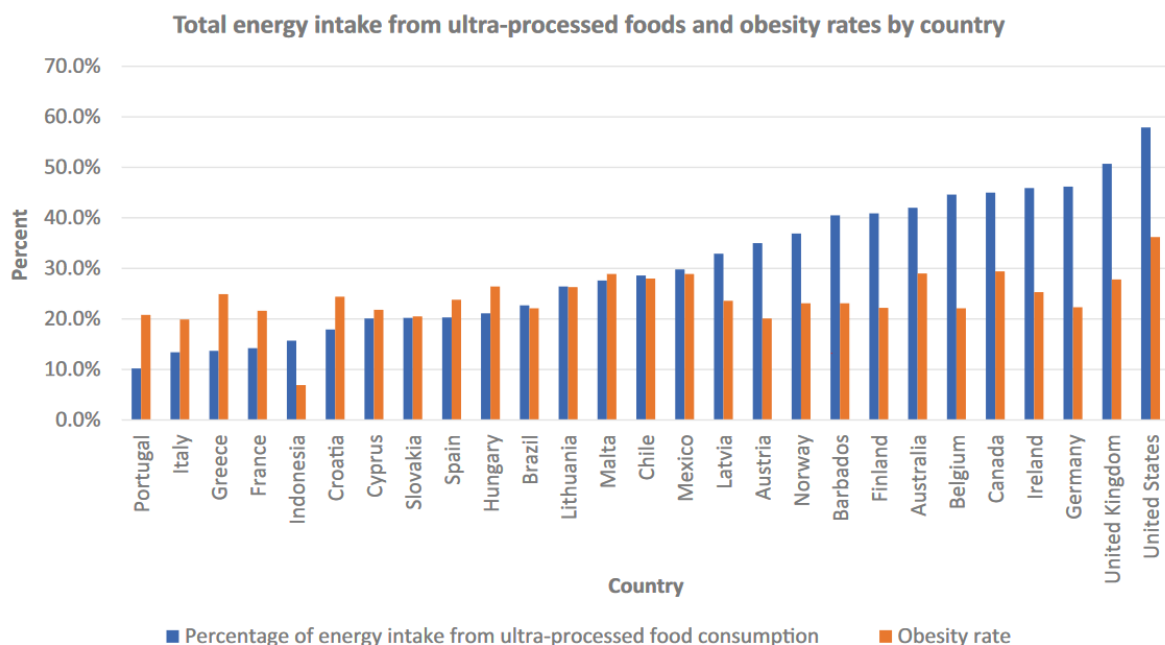
Par ailleurs, le dogme communément admis considérant les aliments comme une somme de nutriments a été remis en question, en prônant la prise en compte de l'aliment dans son ensemble, intégrant alors également les étapes nécessaires à sa transformation à partir des matières premières. C'est ainsi que le concept d'aliments dits « ultra-transformés » a vu le jour (C. A. Monteiro, 2009). Ce concept a évolué au fil des années (C. A. Monteiro et al., 2016), et englobe différentes dimensions incluant notamment le lieu de transformation, le type de transformation ou encore la formulation. Il s'agit donc d'un thème émergent et qui demeure flou, pour lequel davantage de travaux de recherche sont nécessaires (Sadler et al., 2021).

Par la suite, durant ces dernières années, de nombreuses études épidémiologiques ont établi des liens entre la consommation d'aliments ultra-transformés et des risques pour la santé. Une méta-analyse récente a associé la consommation d'aliments ultra-transformés à un risque plus important de surpoids et d'obésité (+ 39%) et de syndrome métabolique (i.e., un tour de taille élevé et au moins deux autres troubles parmi : anomalie de la glycémie, trop de triglycéride et/ou pas assez de cholestérol HDL, hypertension artérielle) (+ 79%) (Pagliai et al., 2021) sur la base de 10 études transversales (i.e., études réalisées à un instant donné sur un large échantillon de la population). Aucun lien n'a été observé entre la consommation d'aliments ultra-transformés et l'hypertension ou l'hyperglycémie (Pagliai et al., 2021). Cependant, une autre étude tend à associer une forte consommation d'aliments ultra-



transformés à l’hypertension pour des sujets âgés atteints du syndrome métabolique (Martinez-Perez et al., 2021). Les études longitudinales (i.e., avec un suivi dans le temps, ici de 3,5 à 19 ans) ont mis en avant qu’une forte consommation d’aliments ultra-transformés était associée à un risque accru de maladies cardiovasculaires, cérébrovasculaires, de dépression et plus généralement de mortalité (Pagliai et al., 2021). Cette dernière conclusion associant la hausse de la consommation d’aliments ultra-transformés à une hausse de la mortalité a également été étayée par une autre méta-analyse, incluant 40 études de cohorte regroupant plus de cinq millions d’individus (Taneri et al., 2022). D’autres études ont également mis en lumière une association entre la consommation d’aliments ultra-transformés et le risque de développer un diabète de type 2 (Duan et al., 2022; Srou et al., 2019), un syndrome du côlon irritable (Schnabel et al., 2018), ainsi qu’une maladie de Crohn (Lo et al., 2022). Même le risque de développer la COVID-19 a été positivement associé à la consommation d’aliments ultra-transformés (Zhou et al., 2022). Les mécanismes sous-jacents à ces associations restent néanmoins à explorer (Srou et al., 2022).

De même, le cadre de ces études et l’aspect multiculturel sont à prendre en compte comme l’illustrent les données croisées entre obésité et pourcentage énergétique lié aux aliments ultra-transformés, présentées par pays (Figure 5). En effet, la relation entre obésité/surpoids et consommation de produits ultra-transformés ne serait pas forcément robuste et serait très dépendante du pays considéré (Crimarco et al., 2022).



**Figure 5.** Apport énergétique total provenant des aliments ultra-transformés et taux d’obésité par pays (Crimarco et al., 2022).

De plus, la méta-analyse de Taneri et al. a également montré qu’une plus forte consommation de boissons sucrées, boissons avec édulcorants et viande



transformée/viande rouge était significativement associée à un risque accru de mortalité, alors que la consommation de céréales du petit-déjeuner avait l'effet inverse (Taneri et al., 2022). Cela tend à souligner l'importance de la composition du régime et de la qualité nutritionnelle des aliments vis-à-vis des risques évoqués. En effet, une récente méta-analyse a montré que la consommation d'aliments ultra-transformés avait un impact négatif sur la qualité de la diète (e.g., davantage de sucres et d'acides gras saturés, moins de fibres, minéraux et vitamines) (Martini et al., 2021).

Au-delà de la nature observationnelle des travaux cités, un premier essai clinique randomisé a permis de comparer un régime composé d'aliments « non ou peu transformés » et un régime « ultra-transformé » (*ad libitum* dans les deux cas) sur vingt individus et a révélé une prise alimentaire journalière plus calorique ainsi qu'une augmentation du poids corporel lors des deux semaines de régime « ultra-transformé » (Hall et al., 2019). On peut ainsi imaginer qu'une prise calorique facilitée pourrait entraîner ces phénomènes observés de surpoids et d'obésité. Néanmoins, l'explication n'est pas si simple et la communauté scientifique est partagée sur l'explication de tels phénomènes, entre qualité nutritionnelle et effets de l'ultra-transformation (Poti et al., 2015). En effet, même en ajustant les modèles par rapport à la qualité de la diète, la majorité des liens précédemment mentionnés restent encore significatifs (Dicken & Batterham, 2022). Une étude récente issue de la cohorte NutriNet-Santé a ainsi montré que la qualité nutritionnelle et le degré de transformation étaient deux composantes distinctes et complémentaires afin de caractériser la qualité d'un régime alimentaire (Julia et al., 2022). Certains travaux mettent en évidence l'importance de la texture des aliments (Teo et al., 2022) et de l'aspect sensoriel (Forde & de Graaf, 2023), au-delà du degré de transformation des produits, en lien avec la vitesse d'ingestion.

Cette accumulation d'éléments a progressivement conduit de nombreux pays à mettre en place des politiques de santé publique intégrant des recommandations spécifiques autour des aliments transformés. Le Brésil a tout d'abord préconisé dans son guide alimentaire, dès 2015, de limiter la consommation des aliments transformés (Ministry of Health of Brazil, 2015). En France, le PNNS 4 vise à « interrompre la croissance de la consommation des produits ultra-transformés et de réduire la consommation de ces produits de 20% entre 2018 et 2021 » (Ministère des solidarités et de la santé, 2019). Cela démontre un angle d'attaque différent par rapport aux recommandations nutritionnelles classiques (e.g., « limiter les matières grasses ajoutées, le sucre et le sel », « manger cinq fruits et légumes par jour »).

Par ailleurs, au-delà de ces constats sur la santé, les différences sur les qualités des aliments en fonction de leur mode de transformation restent méconnues. En parallèle, l'image véhiculée par ces modes est pourtant très différente selon les consommateurs. Dans ce contexte, l'objectif de ce travail de thèse vise ainsi à **étudier les impacts des transformations alimentaires industrielles, artisanales, ou à domicile sur les qualités des produits et les perceptions des consommateurs.**

En particulier, les modèles d'aliments transformés que nous avons choisi d'étudier dans le cadre des travaux de cette thèse sont le pain de mie et la pizza. Il s'agit de produits fortement consommés, notamment en France — leur impact sur la diète est donc non négligeable. En effet, les Français déclarent consommer en moyenne 105 grammes de pain par jour, avec 86% d'entre eux consommant du pain de mie ([QualiQuanti, 2021](#)). Quant à la pizza, les Français sont l'un des plus grands consommateurs mondiaux avec les États-Unis et devant l'Italie, avec 10 kg de pizza consommés par an et par habitant (soit environ 192 grammes par semaine) ([BFM Business, 2016](#)). Par ailleurs, la pizza permet d'envisager un modèle avec davantage de complexité (e.g., différentes pâtes, différentes sauces, différentes garnitures), tandis que le pain de mie est un produit plus simple et présentant moins de variabilité dans sa formulation. Ces produits sont, de plus, fabriqués sur des lieux très variés, allant de l'industrie, artisanat, au domicile des consommateurs.

Ce travail de thèse sera présenté sous la forme d'une thèse par articles, c'est-à-dire s'appuyant sur les articles scientifiques publiés (ou drafts d'articles scientifiques : versions préliminaires visant à être soumises pour publication). Ce manuscrit sera organisé en quatre chapitres. Dans un premier temps, un état de l'art de la littérature scientifique sera présenté afin d'exposer l'état d'avancement des connaissances scientifiques et d'introduire les travaux réalisés durant cette thèse (chapitre 1). Le chapitre 2 présentera la caractérisation et la comparaison des modes de transformation. La section 2.1 introduira le Process-Score, point de départ méthodologique développé pour caractériser le degré de transformation des aliments. Une cartographie des pains de mie et des pizzas industriels français sera ensuite présentée dans la section 2.2, avant de montrer l'impact du mode de transformation (industriel, artisanal, et fait maison) sur les propriétés du pain de mie (section 2.3). Une seconde partie de résultats (chapitre 3) portera sur les préférences et perceptions des consommateurs. Ces dernières seront étudiées en section 3.1 pour des pains de mie fabriqués selon différents modes de transformation, avec une étude de l'impact des informations nutritionnelles et technologiques sur ces perceptions. La suite des travaux portera sur la pizza, aliment transformé plus complexe en termes de recette que les pains de mie. Nous présenterons l'impact du mode de transformation des pizzas sur les attentes des consommateurs (e.g., en termes de nutrition, naturalité, environnement), résultats issus d'une étude en ligne auprès de 1 000 consommateurs (section 3.2). Ensuite, les résultats d'une étude expérimentale impliquant 69 consommateurs et portant sur l'influence du mode de préparation des pizzas sur les préférences et perceptions des consommateurs sera présentée (section 3.3). Finalement, une discussion générale permettra de confronter les différents résultats (chapitre 4), avant de conclure et d'envisager les perspectives pouvant s'inscrire dans la suite de ce travail (section 5).

# 1 CHAPITRE 1. ÉTAT DE L'ART

---

Ce premier chapitre vise à poser le contexte scientifique et à présenter les différents concepts nécessaires à la compréhension de ce travail doctoral. Ainsi, la transformation alimentaire et les caractéristiques associées à ces aliments transformés seront tout d'abord évoquées. Une seconde partie présentera un état des lieux des travaux autour de la classification existante sur les aliments, en portant une attention particulière sur les classifications selon les niveaux de transformation. Finalement les études traitant des perceptions des consommateurs autour de ces sujets seront présentées. Cet état de l'art permettra d'introduire les objectifs de la thèse, les questions de recherche associées et la stratégie proposée pour répondre à ces questions.

## 1.1 LES TRANSFORMATIONS ALIMENTAIRES ET LES CARACTÉRISTIQUES ASSOCIÉES

Dans un contexte de population mondiale grandissante, avec des problématiques à la fois d'obésité (Morgen & Sorensen, 2014) et de malnutrition (The Lancet, 2017), mais aussi environnementales (Baldwin, 2009), l'industrie agroalimentaire a un rôle essentiel à jouer dans la quête d'une alimentation plus saine et durable. Les transformations alimentaires sont variées et peuvent être réalisées dans de nombreux contextes. Après avoir défini et rappelé brièvement l'histoire et les modes de transformation, les connaissances liées à l'impact de ces transformations alimentaires sur les caractéristiques et qualités des produits seront présentées.

### 1.1.1 Quelques définitions

La FAO définit les **systèmes alimentaires** comme l'ensemble des acteurs et leurs activités de valorisation interdépendantes qui interviennent dans la production, l'agrégation, la transformation, la distribution, la consommation et l'élimination des produits alimentaires issus de l'agriculture, de la sylviculture ou de la pêche (Nguyen, 2018). Cette première définition se veut donc généraliste, et très englobante, pouvant également être jugée « peu analytique » (Trystram, 2022), car elle ne donne aucune description sur les différents modes de production et de transformation.

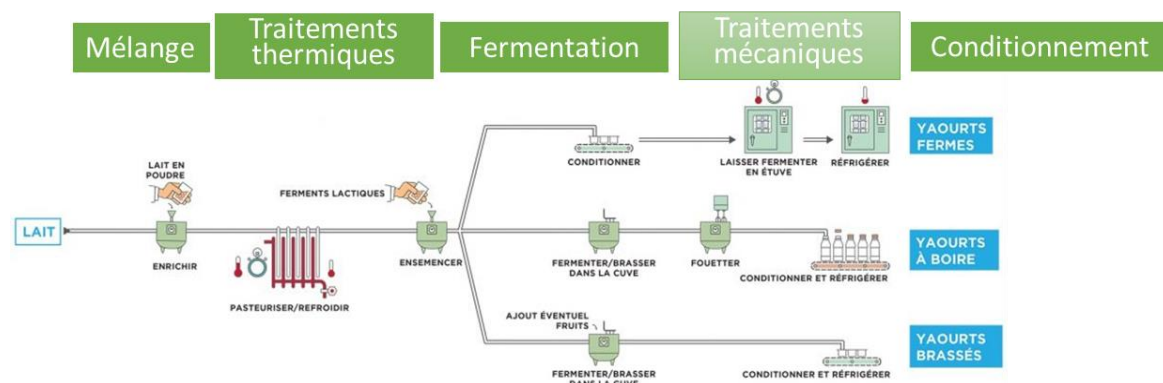
D'après la directive 178/2002 de l'Union Européenne, un **aliment** désigne « toute substance ou produit transformé, partiellement transformé ou non transformé, destiné à être ingéré ou raisonnablement susceptible d'être ingéré par l'être humain ».

On peut définir la **transformation alimentaire** comme « la mise en œuvre de mécanismes physiques, chimiques ou biologiques via une combinaison d'opérations unitaires apportant une ou plusieurs fonctions ou propriétés à l'aliment » (Souchon & Braesco, 2022). En effet, la majorité des aliments que nous consommons a subi différentes transformations, appelées opérations unitaires (e.g., découpe, cuisson, lavage, mélange — cf. **Tableau 1**). Un procédé de transformation est défini comme

l'enchaînement d'opérations unitaires (exemple du lait transformé en yaourt présenté en **Figure 6**).

**Tableau 1.** Principales opérations unitaires classiques du génie des procédés alimentaires (Bimbenet, 1998).

Classement		Opération unitaire	Milieu	
Opérations mécaniques		Manutention, pesée, broyage, triage, etc.	Solides particulaires, poudres	
Transferts de quantité de mouvement		Agitation, malaxage	Liquides, pâtes	
		Décantation	Solide-liquide, liquide-liquide, solide-gaz	
		Centrifugation		
		Filtration		
		Essorage centrifuge		
Transferts de quantité de mouvement couplés		Extraction par pression	Solide-liquide	
		Transferts de chaleur	Chauffage-refroidissement	Divers
			Réfrigération Congélation Surgélation	
			Pasteurisation Stérilisation	
		Transferts de chaleur et de matière	Évaporation	Liquides
			Séchage	Solides, liquides
			Distillation	Liquides
			Réactions biochimiques et microbiologiques	Divers
		Transferts de matière	Extraction par solvant	Solide-liquide et liquide-liquide



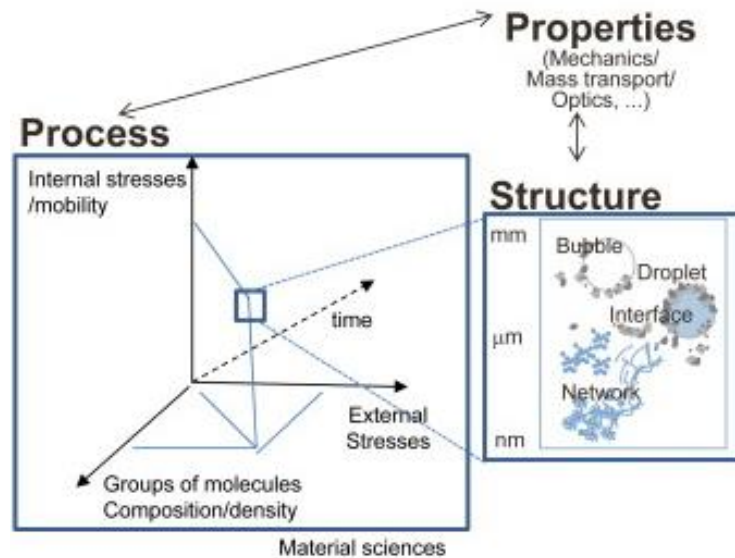
**Figure 6.** Diagramme de fabrication simplifié de différents yaourts, présentant les différentes opérations unitaires nécessaires à la fabrication.

Par ailleurs, pour faciliter ces transformations, il est possible d'avoir recours à des **auxiliaires technologiques**. Ce sont, d'après l'ANSES, « des substances, non

consommées comme ingrédients alimentaires en soi, mais volontairement utilisées lors du traitement ou de la transformation [...] afin de répondre à un objectif technologique donné » (ANSES, 2012b). Il peut s'agir par exemple d'agents de démoulage, de solvants d'extraction ou d'antimousses. De plus, « leur utilisation peut avoir pour résultat la présence non intentionnelle, mais techniquement inévitable, de résidus de cette substance ou de ses dérivés dans le produit fini, à condition que ces résidus ne présentent pas de risque sanitaire et n'aient pas d'effets technologiques sur le produit fini ». Ces auxiliaires technologiques sont réglementés au niveau français (à l'exception des préparations enzymatiques réglementées à l'échelle européenne). Une liste positive précise les auxiliaires autorisés dans l'arrêté du 19 Octobre 2006 relatif à l'emploi d'auxiliaires technologiques dans la fabrication de certaines denrées alimentaires. Il n'est en revanche pas obligatoire de les mentionner sur l'étiquetage.

De même, ces transformations peuvent nécessiter l'utilisation d'un **additif alimentaire**, défini selon l'ANSES comme « une substance qui n'est pas habituellement consommée comme un aliment ou utilisée comme un ingrédient dans l'alimentation. Ces composés sont ajoutés aux denrées dans un but technologique au stade de la fabrication, de la transformation, de la préparation, du traitement, du conditionnement, du transport ou de l'entreposage des denrées et se retrouvent donc dans la composition du produit fini » (ANSES, 2012a). Un additif peut être utilisé pour remplir différentes fonctionnalités, comme par exemple garantir la qualité sanitaire des aliments (e.g., le conservateur E200, acide sorbique) ; leur stabilité (e.g., l'émulsifiant E322, lécithine) ; jouer sur la texture (e.g., l'épaississant E412, gomme de guar) ; ou encore améliorer l'aspect (e.g., le colorant E100, curcumine) ou le goût (e.g., l'exhausteur de goût E621, glutamate de sodium) du produit. Ces additifs peuvent être naturels (e.g., extraits d'algues) ou de synthèse, et doivent être mentionnés dans la liste des ingrédients soit par leur code E (e.g., E300), soit par leur nom (e.g., acide ascorbique). Comme précisé dans le règlement CE n°1333/2008, la Commission Européenne établit une liste positive des additifs autorisés, ainsi que leur numéro E attribué, en précisant les aliments dans lesquels ils peuvent être ajoutés et les doses maximales autorisées. En effet, ces derniers sont soumis à évaluation (selon le règlement CE n°1331/2008) et ne sont autorisés en alimentation humaine que s'ils ne font pas courir de risque aux consommateurs aux doses utilisées et qu'ils démontrent leur intérêt.

D'un point de vue ingénierie, les aliments peuvent donc être considérés comme le résultat d'une transformation au cours de laquelle des molécules biologiques s'assemblent en différentes structures multi-échelles en fonction du temps, de la composition et de la concentration moléculaires, des contraintes extérieures appliquées, et des contraintes internes, tel que résumé dans la **Figure 7**.



**Figure 7.** Les différentes interactions entre procédés et propriétés de l'aliment (van Mil et al., 2014).

En effet, un aliment ne peut être considéré comme la simple somme de ses nutriments (Parada & Aguilera, 2007). Il est nécessaire, au-delà de la composition nutritionnelle, de s'intéresser à la structure de l'aliment — autrement dit aux constituants de l'aliment et leurs interactions — de l'échelle moléculaire à l'échelle macroscopique (**Figure 7**). Et ces interactions sont affectées par les transformations alimentaires et les formulations qui sont employées pour préparer ces aliments.

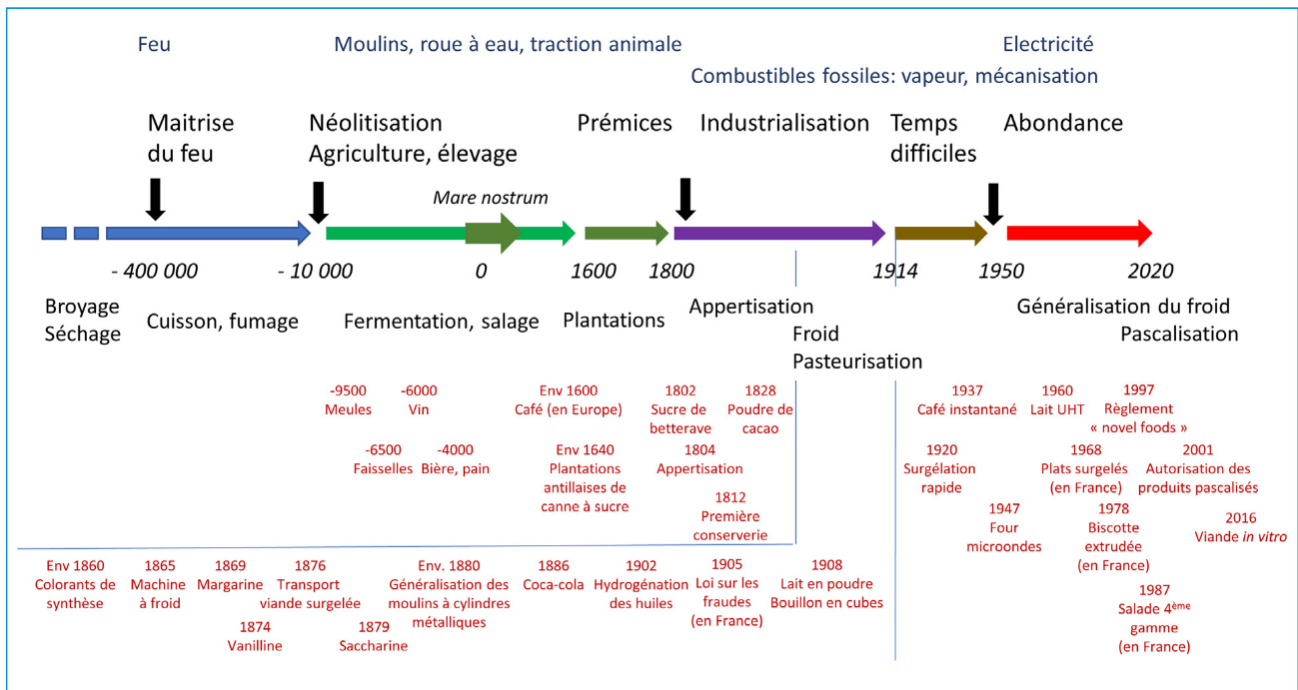
### 1.1.2 Historique des transformations alimentaires

De tous temps, les Hommes ont eu conscience de la nécessité de transformer leurs aliments, permettant notamment de conserver leurs denrées alimentaires. Tout d'abord, en jouant avec les températures : par la conservation au froid ou la cuisson des denrées alimentaires (Gremillion, 2011; Dunne et al., 2016; Chazan, 2017).

Parallèlement, le séchage, le salage et la fermentation ont été utilisés comme procédés ancestraux de stabilisation des aliments, avec également des impacts sur le goût, la texture et la structure (Renard, 2022). Cependant, malgré des débuts de commerce local, la transformation des aliments est restée essentiellement à l'échelle domestique et artisanale jusqu'au XIX<sup>e</sup> siècle, reposant sur des savoir-faire ancestraux et empiriques, avec des risques sur les plans microbiologiques et nutritionnels (e.g., famine, carence) (Renard, 2022). L'industrie agroalimentaire a alors fait son apparition lors du début de la révolution industrielle, notamment avec la stérilisation dans un récipient hermétique présentée par Nicolas Appert en 1795 (Birlouez, 2018).

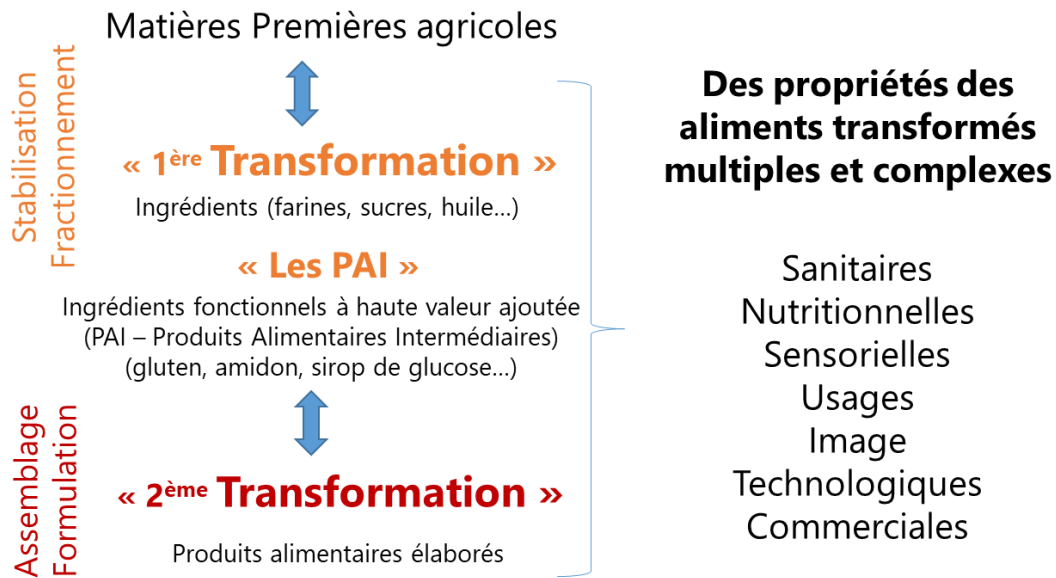
Ces inventions et améliorations progressives à travers les époques — replacées chronologiquement dans la **Figure 8** — ont permis de construire le paysage de l'industrie agroalimentaire que nous connaissons actuellement.





**Figure 8.** Frise illustrant le développement des méthodes de transformation des aliments, avec quelques exemples saillants de produits alimentaires (Renard, 2022).

De nos jours, l'industrialisation a largement fait ses preuves et est implantée dans la grande majorité des systèmes alimentaires. La mécanisation et l'automatisation sont poussées à l'extrême, afin de minimiser l'action humaine et de maximiser les cadences et la productivité. L'accumulation des savoirs scientifiques et technologiques ont permis aux industries alimentaires de se structurer et de s'organiser. En amont, les entreprises de « première transformation » se spécialisent dans le fractionnement (appelé « cracking ») des matières premières agricoles (i.e., périssables) : les protéines (e.g., protéines de soja, gluten), lipides (e.g., lécithines) et carbohydrates (e.g., glucose) sont extraits et purifiés afin de correspondre à la demande des clients (**Figure 9**). Ces entreprises se spécialisent alors dans la vente de produits alimentaires intermédiaires tels que des tomates en conserve, de la farine, des huiles, du sucre, du lait déshydraté ou de la pâte à pain (Nicolas & Hy, 2000). En aval, les entreprises de la « deuxième transformation » (i.e., d'assemblage) disposent alors d'une grande variété d'ingrédients répondant à leurs besoins pour formuler et assembler ces produits intermédiaires en une multitude de produits alimentaires plus élaborés (e.g., une pâtisserie) avec la possibilité d'utiliser des additifs et des aides technologiques (qui sont également des produits alimentaires intermédiaires).



**Figure 9.** Complémentarité entre première et deuxième transformations pour proposer des aliments transformés multiples et complexes.

Ainsi, le couple déconstruction/reformulation est la base des industries agroalimentaires actuelles, et permet notamment de baisser les coûts de production (Soler et al., 2011). Il est plus aisé de maîtriser et standardiser la qualité des matières premières, ces dernières pouvant varier à l'image de farines de qualités différentes (e.g., teneurs en protéines ou minéraux) suite à des récoltes dans différentes zones géographiques, ou suite à des contraintes climatiques. Ainsi, un grain de blé entier (a priori non comestible tel quel) peut être dans un premier temps raffiné en farine blanche, son et germe. La farine obtenue peut ensuite être fractionnée en amidon et gluten. Puis, l'amidon peut également être transformé en sirop de glucose ou en dextrose. Ainsi, à partir d'une seule matière première (le grain de blé), plus d'une dizaine d'ingrédients intermédiaires peut être produite. Ensuite, pour les entreprises de la deuxième transformation, l'amidon pourra ainsi être utilisé afin d'épaissir un produit et le sirop de glucose afin de sucrer un produit à moindre coût. Le gluten pourra quant à lui permettre d'ajuster la teneur en protéines des farines suivant les besoins du produit : une farine à pain aura généralement une plus forte teneur en protéines (afin d'assurer un réseau protéique plus développé) qu'une farine destinée à la pâtisserie (Janssen et al., 1996).

Les connaissances techniques de pointe désormais acquises en physique, chimie, biologie et génie des procédés (mais aussi la connaissance du consommateur que nous développerons en section 1.4) permettent d'utiliser ces ingrédients dans de multiples formulations, soumises aux procédés adéquats, afin d'offrir aux consommateurs une gamme diversifiée de produits alimentaires répondant aux normes de qualité et aux standards du commerce mondialisé (Lamanthe, 2007).

Toutefois, l'aspect révolutionnaire de ces technologies autrefois vues positivement a maintenant laissé place à davantage de scepticisme et de peur face aux



innovations. On peut notamment citer l'irradiation par des rayonnements ionisants, pouvant prolonger la durée de vie de différents produits. Cette technologie est réglementée en France par l'arrêté du 20 Août 2002 relatif aux denrées et ingrédients alimentaires traités par ionisation, qui précise notamment les denrées pouvant être traitées et les doses maximales d'ionisation. Cependant, étant donné l'obligation de mentionner sur l'étiquetage l'utilisation de cette technique et le rejet des consommateurs face à cette technologie (Farkas & Mohácsi-Farkas, 2011), l'irradiation est surtout utilisée pour les herbes aromatiques et épices.

Au-delà de la peur des innovations technologiques, les multiples scandales alimentaires ont largement contribué à éroder la confiance que les consommateurs ont vis-à-vis de l'industrie agroalimentaire. La distanciation croissante entre les consommateurs et leurs aliments tend également à renforcer ce sentiment, malgré les réglementations de plus en plus poussées vis-à-vis de la production alimentaire, visant à toujours mieux protéger le consommateur (Lepiller & Yount-André, 2019). Pour Lepiller & Yount-André, « en France, le renforcement de la défiance est très sensible à partir de la première crise dite de la vache folle, fin 1996 début 1997, qui signe l'entrée dans le contexte critique contemporain, où les affaires et scandales alimentaires se succèdent ». Un des scandales les plus marquants reste sans doute en 2013 l'affaire de la viande chevaline, utilisée en remplacement dans des produits 100% à base de bœuf, sans en faire mention. Cette fraude porterait sur 550 tonnes de minerai (i.e., bloc de viande désossée) de cheval ayant servi à la fabrication de plus de 4,5 millions de plats préparés vendus dans treize pays européens (dont la France). Dès lors, la consommation de produits surgelés en France a fortement chuté, instaurant une grande méfiance suite à cette tromperie (Payet, 2015). Pour illustrer avec quelques exemples plus récents, l'année 2022 a été particulièrement riche en rappels de produits : en Mars, un rappel massif de pizzas surgelées Buitoni® a été effectué suite à une présence d'*Escherichia coli* dans la pâte de leurs produits, après le décès de deux enfants et de dizaines de personnes malades de cette bactérie (Rappel Conso, 2022a). En Avril, des dizaines d'enfants malades de salmonellose en Europe, dont 21 en France, ont amené Kinder® à rappeler une grande partie de ses produits suite à un risque de présence de *Salmonella* spp (Rappel Conso, 2022b). Enfin, depuis plusieurs mois, de nombreux produits sont retirés du marché pour des taux d'oxyde d'éthylène supérieurs à la réglementation, notamment dans des crèmes glacées (Rappel Conso, 2022c).

En effet, en 2015, 65% des Français interrogés trouvaient les aliments transformés peu sûrs, contre 21% pour les aliments frais et 31% pour l'eau du robinet (Jauneau et al., 2016). Selon cette même étude, pour 77% des Français, les scientifiques connaissent bien la sécurité des aliments, ce qui traduit néanmoins un état de confiance relativement haut envers les connaissances des scientifiques. Ainsi, les spécialistes en technologie alimentaire suggèrent de faire appel à l'ingénierie inverse, afin d'adapter la transformation des aliments aux préférences, à l'acceptation et aux besoins des consommateurs (Roos et al., 2016). Par ailleurs, il est également à noter que les craintes vis-à-vis de l'alimentation ne sont pas un phénomène contemporain car de tout temps

l'Homme a toujours porté attention à sélectionner ses aliments ; ses craintes ne peuvent donc pas être imputées à la seule industrialisation du secteur alimentaire (Ferrières, 2006).

Néanmoins, malgré les craintes qu'elle peut susciter, l'industrie agroalimentaire reste primordiale pour nourrir les Français, et prend à ce titre une place capitale dans l'industrie française. La perception du risque par les consommateurs est donc à nuancer face aux cas avérés de toxi-infections, dont nous parlerons en section 1.1.3.2.1.

### 1.1.3 Les services rendus par les transformations alimentaires et les risques potentiels associés

Les transformations alimentaires peuvent avoir des impacts sur la qualité d'un aliment. Le concept de qualité relève de critères multiples et interdépendants (Majou, 2017). On peut notamment citer :

- La qualité sanitaire, sous l'aspect microbiologique (e.g., contaminations telles que *Salmonella* ou par des champignons) et l'aspect toxicologique (e.g., métaux lourds, pesticides, composés néoformés, migrations issues de l'emballage).
- La qualité organoleptique, en lien avec les propriétés de texture du produit, ses arômes, son goût, son odeur, sa couleur etc.
- La qualité nutritionnelle, en lien avec les teneurs en macronutriments (e.g., sel, sucre, fibres), micronutriments (e.g., calcium, vitamine C), les facteurs antinutritionnels (e.g., tanins, phytoestrogènes), voire la digestibilité.
- La qualité fonctionnelle, regroupant des paramètres tels que la praticité de l'emballage, le temps de cuisson du produit, ou encore sa DLC.
- La qualité symbolique, en lien avec la marque et les labels (e.g., AB pour l'agriculture biologique).
- La qualité environnementale, en lien avec les conséquences environnementales de la production du produit (e.g., rejets de CO<sub>2</sub>, eutrophisation), et les problématiques d'éco-conception, de suremballage ou de circuits courts par exemple.
- La qualité éthique, avec des problématiques telles que le bien-être animal ou le Fairtrade.

Il est par ailleurs important de noter que ces critères de qualité mesurables peuvent présenter un décalage avec ce qui est perçu par le consommateur, qui n'a pas nécessairement les mêmes représentations de la qualité (Sommier et al., 2021).

Ces impacts des transformations alimentaires peuvent ainsi être positifs, avec par exemple des bénéfices santé, ou négatifs, avec des risques potentiels associés aux opérations unitaires. La **Figure 10** présente ainsi une synthèse des bénéfices et des risques encourus pour la santé des consommateurs suite à l'application de différentes opérations unitaires.

## Exemples d'opérations unitaires

T  
H  
E  
R  
M  
I  
Q  
U  
E

Cuisson  
(e.g., vapeur, four, micro-ondes, friture)

Pasteurisation, stérilisation

Réfrigération  
Congélation

Déshydratation, lyophilisation

P  
H  
Y  
S  
I  
Q  
U  
E

Hautes pressions  
Champs électriques pulsés, irradiation

B  
I  
O  
L  
O  
G  
I  
Q  
U  
E

Fermentation

Utilisation de pré- et probiotiques

## + Bénéfices

↑ digestibilité, ↑ biodisponibilité [1]  
Production d'arômes (+) (e.g., Maillard, caramélisation)

Sécurité sanitaire (↓ pathogènes, toxines) [1]

↑ conservation  
Séchage du produit

↑ conservation  
↑ préservation des nutriments  
(e.g., vitamines, polyphénol) [1]  
Pas de composés néoformés

↑ conservation  
Production de métabolites bénéfiques [1]

↑ bénéfice santé (e.g., santé intestinale) [1]

## - Risques encourus

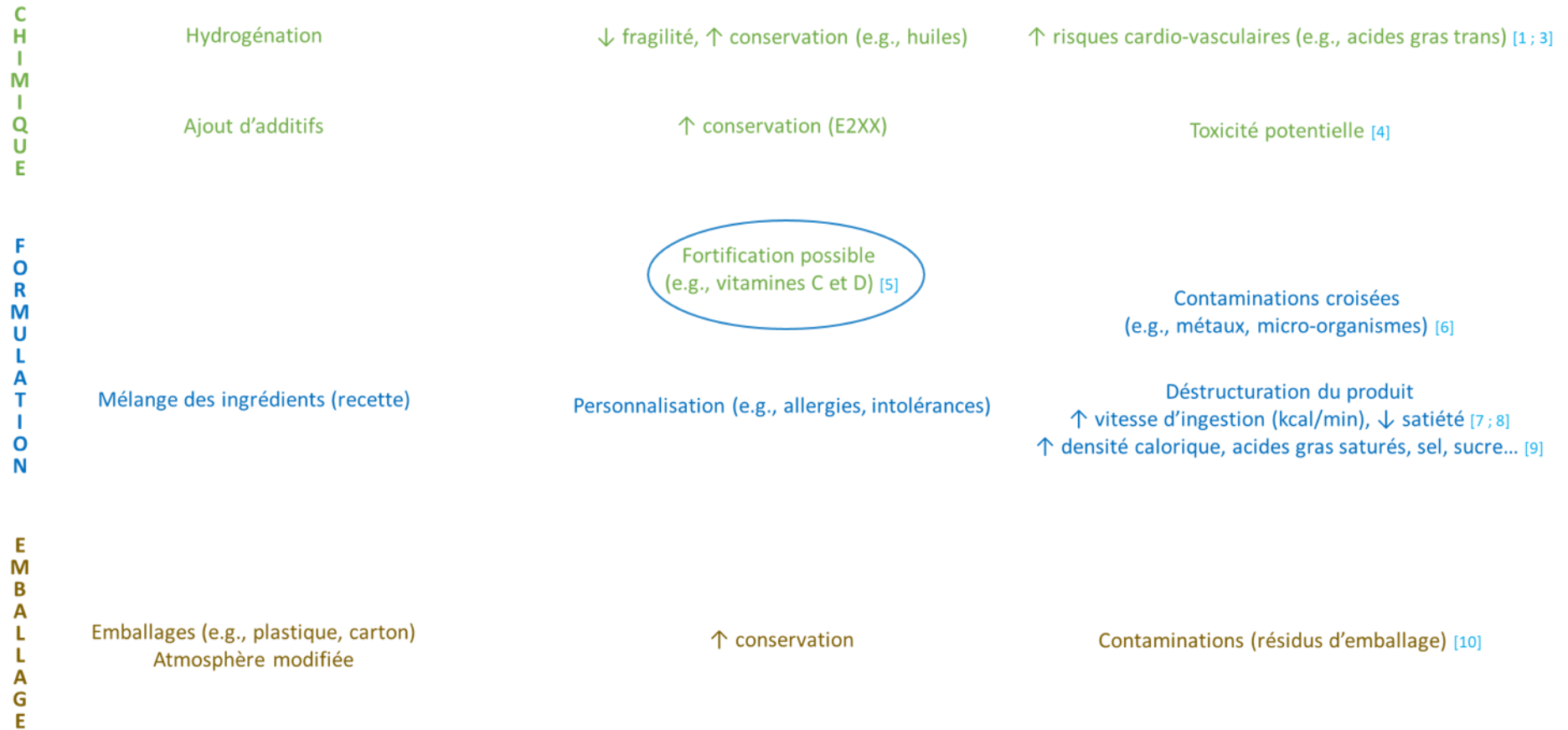
Formation de composés toxiques (acrylamide) [2]

Perte de nutriments  
(e.g., vitamine C, lysine, polyphénols) [1]

Chaîne du froid à respecter

Pas de désactivation des spores,  
facteurs antinutritionnels et enzymes [1]

Dérèglements intestinaux (e.g., diarrhée)

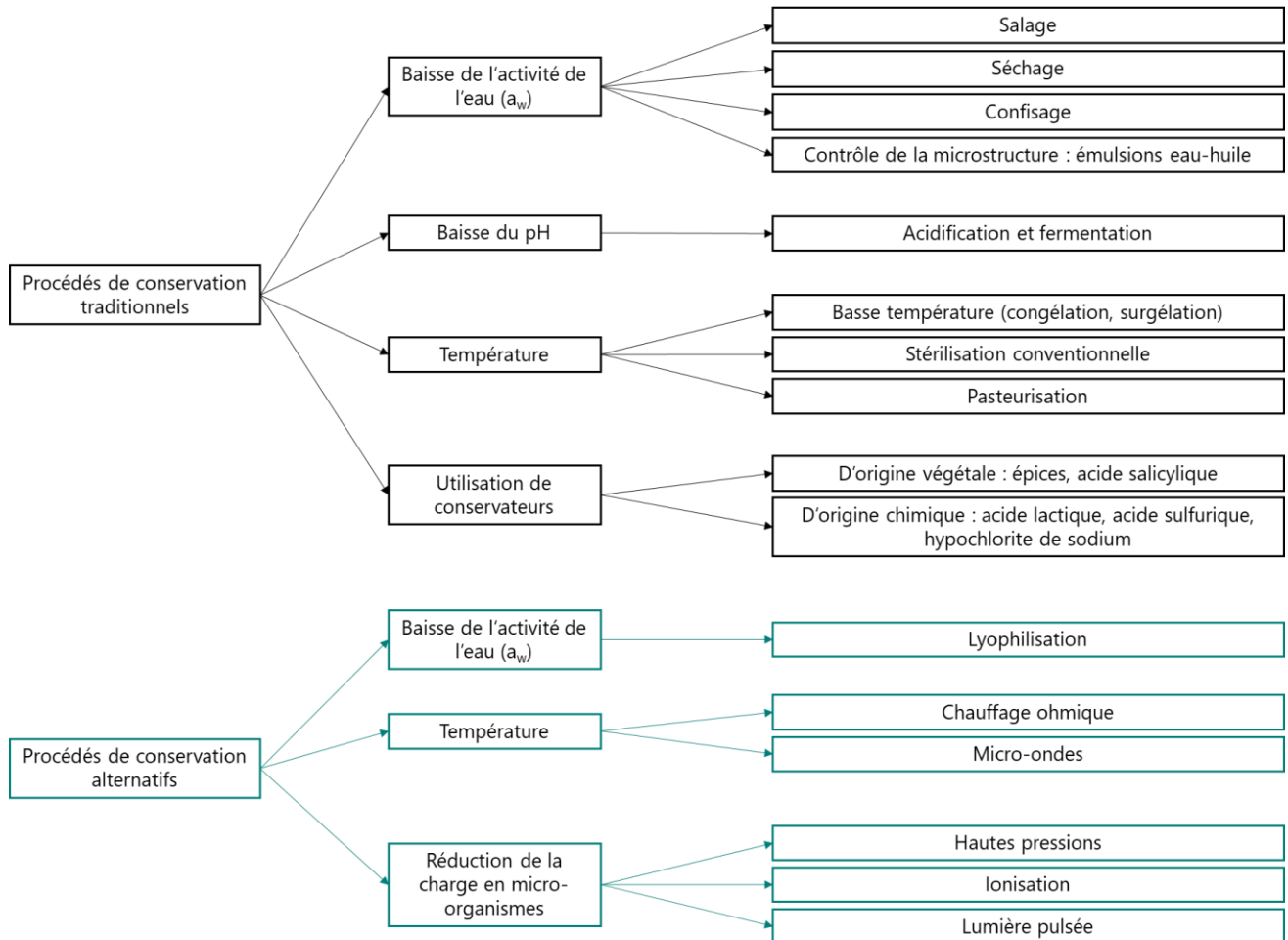


**Figure 10.** Les principaux bénéfices et risques encourus pour la santé des consommateurs suite aux transformations alimentaires. [1] : (van Boekel et al., 2010) ; [2] : (Guth et al., 2013) ; [3] : (Przybylski & Aladedunye, 2012) ; [4] : (Kumar et al., 2019) ; [5] : (Das et al., 2019) ; [6] : (Nerín et al., 2016) ; [7] : (Viskaal-van Dongen et al., 2011) ; [8] : (Hall et al., 2019) ; [9] : (Moubarac et al., 2013) ; [10] : (Buckley et al., 2019)

### 1.1.3.1 Les services rendus par les transformations alimentaires

#### 1.1.3.1.1 La sécurité sanitaire et la conservation des aliments

La transformation alimentaire répond en premier lieu à des nécessités de conservation des denrées alimentaires. Il est possible de répondre à cette problématique de différentes façons : baisse de l'activité de l'eau ( $a_w$ ), diminution du pH, chauffage ou refroidissement ou utilisation d'agents de conservations (Mukhopadhyay et al., 2017). La **Figure 11** reprend ces grands principes.



**Figure 11.** Exemples des principaux procédés de conservation des aliments, selon leurs modes d'action.

#### 1.1.3.1.2 L'amélioration des qualités nutritionnelles

Certains procédés, tels que la cuisson jouent un rôle dans l'amélioration de la digestibilité et de la biodisponibilité des nutriments (van Boekel et al., 2010). On peut par exemple citer les travaux sur la tomate qui ont montré que le pouvoir antioxydant d'une sauce tomate (*a fortiori* industrielle) était supérieur à celui de la tomate brute (Tomas et al., 2017).

En lien avec la formulation, il est possible d'améliorer les qualités nutritionnelles des aliments en y ajoutant par exemple des minéraux et des vitamines. Le produit final

peut permettre de pallier certaines carences (e.g., l'iode dans le sel). À l'inverse, il est également possible d'exclure certains composés pouvant être problématiques pour certaines populations (e.g., le gluten, le lactose) afin de leur proposer des produits adaptés.

#### 1.1.3.1.3 L'amélioration des qualités organoleptiques

Les perceptions des aliments sont également fortement influencées par la nature des transformations qu'ils subissent. Par exemple, la torréfaction (i.e., un chauffage à très haute température, de l'ordre de 200 °C) permet de développer des arômes caractéristiques. La caramélisation et les réactions de Maillard jouent également un rôle important dans le développement du goût et de la couleur de produits tels que le pain (Onishi et al., 2011; Starowicz & Zieliński, 2019). Certaines cuissons telles que le barbecue donnent également des arômes particuliers au produit fini. Cela peut également se substituer par des procédés tels que le fumage ou l'utilisation d'arômes de fumée. L'ajout d'additifs tels que les exhausteurs de goût (e.g., le glutamate de sodium E621) est également un moyen d'améliorer la qualité gustative du produit final qui peut parfois être altérée par des opérations de stabilisation (e.g., pertes d'arômes au cours de traitements thermiques ou de fractionnements). Dans un autre registre, les procédés biologiques tels que la fermentation ou l'affinage (e.g., pour les fromages) sont utilisés afin de donner un goût particulier aux produits finis (Taborda et al., 2008). Il est également possible de retirer certains composés volatiles non souhaités par désodorisation, notamment pour les huiles.

Sur le plan de la texture, les opérations telles que la cuisson, la friture ou encore la cuisson-extrusion permettent l'obtention de différentes textures (Ravi et al., 2007). Des procédés plus poussés tels que l'émulsification (e.g., pour une mousse) ou le foisonnement (e.g., pour une glace) permettent également l'obtention de textures plaisantes pour le consommateur (López-Tenorio et al., 2015). Ici encore, l'utilisation d'additifs tels que les émulsifiants (e.g., la lécithine de soja E322) peuvent favoriser et stabiliser ces étapes.

#### 1.1.3.1.4 Autres types d'améliorations

Comme précédemment évoqué en section 1.1.2, les transformations alimentaires réalisées lors de la « première transformation » permettent d'améliorer la conservation des matières premières sous forme de fractions stables, et ainsi de s'affranchir de la saisonnalité de certaines denrées tout en assurant leur conservation : opérations thermomécaniques et raffinage dans le cas de purée de tomate ou opérations de broyage et de tamisage dans le cas des farines. Les procédés d'extraction permettent ainsi d'isoler et de purifier certains composés d'intérêt à partir des matières premières (e.g., arômes, gluten) (Kaushik et al., 2015) et permettent aux entreprises de la « deuxième transformation » de standardiser au maximum leurs produits, ce qui est apprécié par le consommateur final qui souhaite une qualité constante des produits qu'il achète. De même, d'un point de vue logistique, les transports sont facilités car les

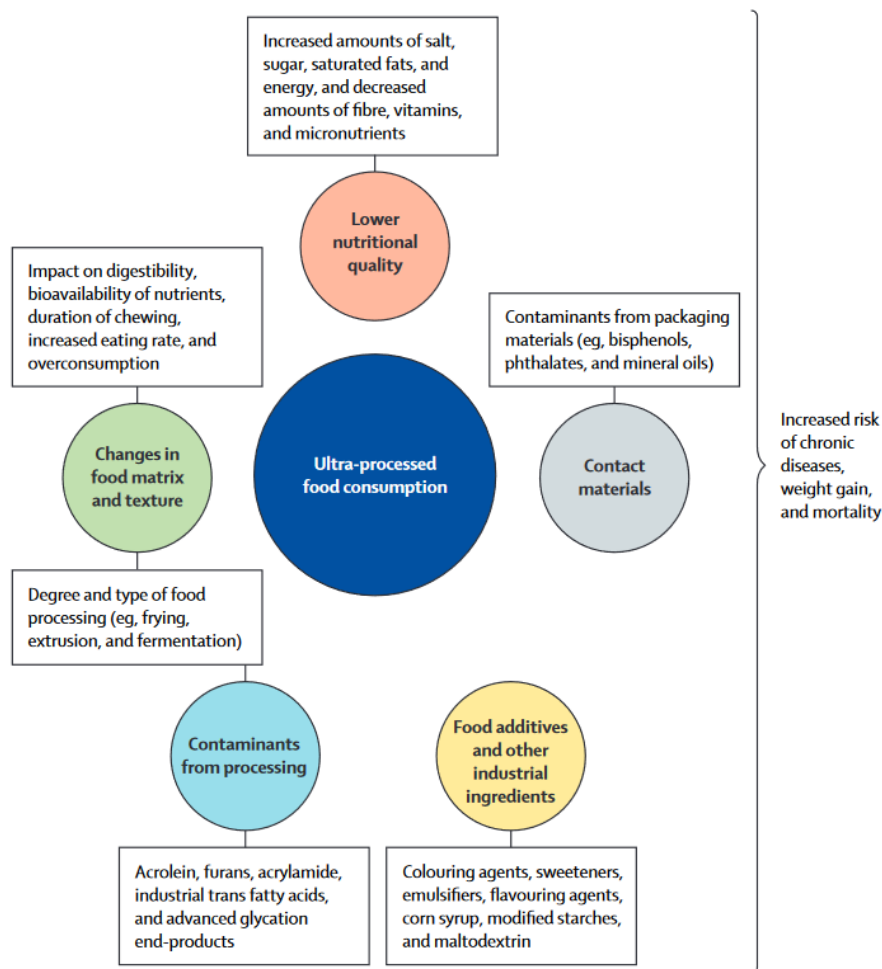
durées de conservation sont allongées.

Les transformations alimentaires contribuent également à la diversité de l'offre alimentaire et permettent de s'adapter à des populations spécifiques. Les procédés d'emballage présentent également un rôle important dans la mesure où ils facilitent l'utilisation du produit par le consommateur (e.g., boîtes à pâtes en carton directement utilisables au micro-ondes). Ces emballages permettent également de protéger le produit et donc d'empêcher la perte, voire permettent le procédé de stabilisation pour certains (e.g., conserves). Finalement, la démarche d'éco-conception amène la réflexion sur le choix d'opérations unitaires ayant le moins d'impact sur l'environnement (e.g., irradier au lieu de pasteuriser) et l'optimisation des process existants (Wang, 2014).

Néanmoins, en contreparties de ces services rendus, peuvent exister des risques encourus suite à ces transformations.

#### *1.1.3.2 Les risques associés aux transformations alimentaires*

Certains risques associés à des opérations unitaires, ou de façon générale aux transformations alimentaires, ont pu être identifiés. Ils seront présentés dans cette section par grandes familles de risques, afin de faire écho aux services rendus. Il est également à noter que les risques mentionnés ne se situent pas tous au même degré : certains risques sont avérés à l'image de l'oxyde d'éthylène reconnu comme CMR (cancérogène, mutagène et reprotoxique), ou encore des nitrites visés à être diminués car associés à un risque accru de cancer colorectal (ANSES, 2022). D'autres constituent davantage des risques potentiels pour lesquels le faisceau de preuves n'est pas encore suffisamment fourni. En effet, comme précisé en introduction, les mécanismes sous-jacents restent à explorer (**Figure 12**) (Srouf et al., 2022).



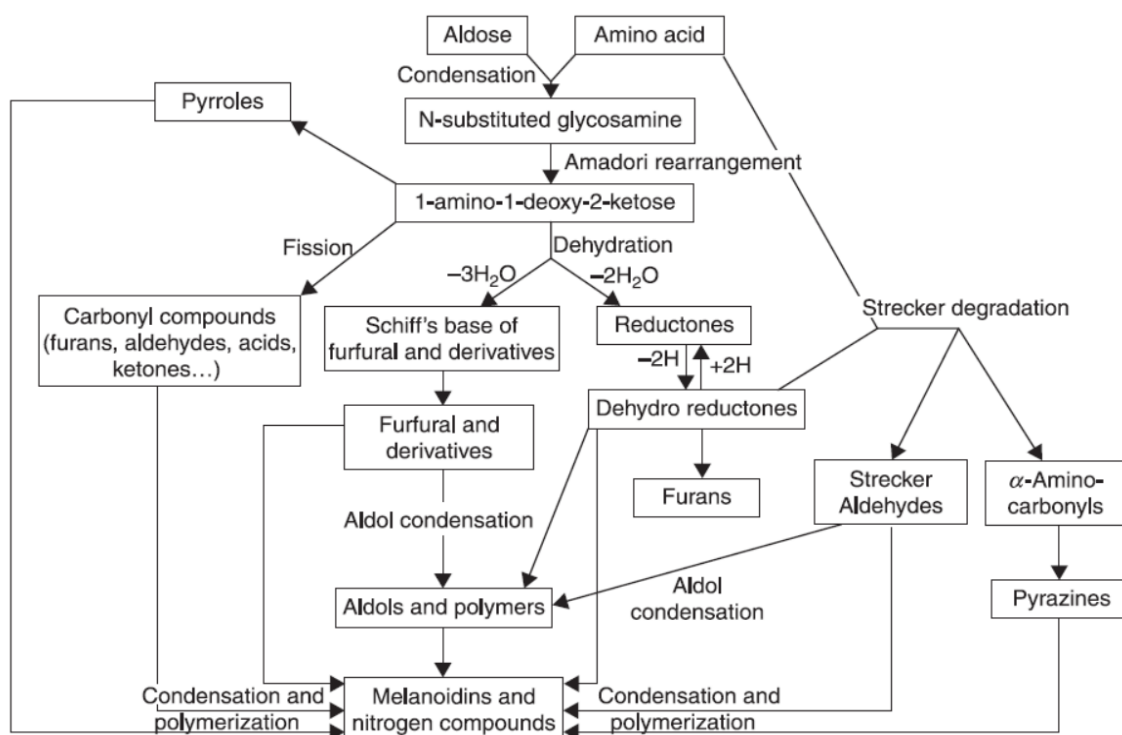
**Figure 12.** Possibles mécanismes explicatifs des associations entre consommation d'aliments ultra-transformés et risques de maladies chroniques (Srouf et al., 2022).

### 1.1.3.2.1 Les risques sanitaires

Un des objectifs premiers des transformations alimentaires est d'assurer la sécurité microbiologique des produits. Les traitements sont donc adaptés à la réduction de la charge microbienne cible, même si des risques existent, avec production potentielle de toxines (Rosset et al., 2002). Il est néanmoins à noter que les toxi-infections alimentaires sont de nos jours un fait rare (Delmas et al., 2010) grâce aux procédés et aux systèmes d'hygiène mis en place dans les industries agro-alimentaires et en restauration collective.

Des molécules potentiellement dangereuses pour la santé peuvent également être créées suite à certaines transformations alimentaires, c'est ce que l'on appelle les composés néoformés (Göncüoğlu Taş et al., 2022). Par exemple, l'acrylamide est un contaminant se formant naturellement lors de la cuisson des aliments (e.g., dans les chips, le café ou le pain) au cours d'un ensemble de réactions chimiques entre les acides aminés et les sucres en présence, lors de la réaction de Maillard (Figure 13). L'acrylamide est suspecté pour sa génotoxicité et carcinogénicité, bien que les preuves épidémiologiques actuelles soient insuffisantes. Des exemples de concentrations en acrylamide dans certains aliments sont donnés en **Tableau 2**.





**Figure 13.** Représentation schématique de la réaction de Maillard (Prost et al., 2012).

**Tableau 2.** Teneurs en acrylamide en  $\mu\text{g.kg}^{-1}$  dans différents produits (EFSA, 2015).

Food category <sup>(k)</sup>	n <sup>(a)</sup>	LC <sup>(b)</sup>	Mean MB [LB-UB] <sup>(c)</sup>	P95 MB [LB-UB] <sup>(c)</sup>
<b>1 Potato fried products (except potato crisps and snacks)</b>	<b>1 694</b>	<b>14.3</b>	<b>308 [303–313]</b>	<b>971</b>
1.1 French fries and potato fried, fresh or pre-cooked, sold as ready-to-eat	877	12.7	308 [302–314]	904
1.2 French fries and potato fried, fresh or pre-cooked, sold as fresh or pre-cooked, analysed as sold	74	40.5	367 [362–372]	1 888
1.3 French fries and potato fried, fresh or pre-cooked, sold as fresh or pre-cooked, prepared as consumed <sup>(d)</sup>	557	15.3	239 [236–242]	656
1.4 French fries and potato fried, fresh or pre-cooked, sold as fresh or pre-cooked, preparation unspecified	90	15.6	368 [361–375]	1 468
1.5 Other potato fried products <sup>(e)</sup>	96	2.1	606 [606–607]	1 549
<b>2 Potato crisps and snacks</b>	<b>34 501</b>	<b>0.2</b>	<b>389 [388–389]</b>	<b>932</b>
2.1 Potato crisps made from fresh potatoes	31 467	0.1	392	949
2.2 Potato crisps made from potato dough	2 795	0.5	338	750
2.3 Potato crisps unspecified	216	7.9	519 [516–521]	1 465
2.4 Potato snack other than potato crisp	23	4.3	283	-
<b>4 Soft bread</b>	<b>543</b>	<b>48.8</b>	<b>42 [36–49]</b>	<b>156</b>
4.1 Wheat soft bread	302	45.0	38 [33–44]	120
4.2 Other soft bread	107	40.2	57 [51–62]	240
4.3 Soft bread unspecified	134	64.2	40 [31–50]	141

<sup>(a)</sup> : nombre d'échantillons ; <sup>(b)</sup> : pourcentage de résultats censurés (i.e., valeurs en dehors des limites de détection) ; <sup>(c)</sup> : borne intermédiaire [borne inférieure, borne supérieure] données pour la moyenne et le 95<sup>e</sup> percentile.

D'autres composés pouvant être néfastes à forte dose pour la santé sont également générés par la réaction de Maillard (**Figure 13**). Le furane par exemple est

un composé volatil formé durant le traitement thermique poussé de certains aliments (e.g., café, pain (Chai et al., 2019), bière) (**Figure 13**). L'hydroxyméthylfurfural est également une molécule à risque (Koszucka & Nowak, 2019), produite lors de la réaction de Maillard, qu'on retrouve dans des jus de fruits ayant subi différents procédés de décontamination (**Tableau 3**). On peut également citer les hydrocarbures aromatiques polycycliques, se formant lors de processus de pyrolyse et de combustion incomplète (e.g., barbecue) des matières organiques (e.g., dans les matières grasses et les céréales), et pouvant se révéler mutagènes (J.-G. Lee et al., 2016).

**Tableau 3.** Concentrations en hydroxyméthylfurfural dans différents aliments selon le procédé employé (Arshad et al., 2021).

Sample	HMF after PEF processing	HMF after Thermal processing	Reference
Date juice	5.25 mg.L <sup>-1</sup>	5.9 mg.L <sup>-1</sup>	(Mtaoua et al., 2016)
Tomato Juice	2.7 mg.L <sup>-1</sup>	2.91 mg.L <sup>-1</sup>	Jaeger et al. (2010)
Strawberry juice	0.98 mg.L <sup>-1</sup>	1.37 mg.L <sup>-1</sup>	
Watermelon juice	0.15 mg.L <sup>-1</sup>	0.27 mg.L <sup>-1</sup>	

*HMF : hydroxyméthylfurfural ; PEF : Pulsed Electric Field*

De plus, des composés cytotoxiques et génotoxiques (e.g., radicaux libres, hydroperoxydes) peuvent être générés lors de l'oxydation des lipides insaturés produits lors de la cuisson et de la conservation des aliments (Surai & Fisinin, 2010). Différentes voies réactionnelles existent (i.e., l'auto-oxydation catalysée par la température, les ions métalliques, ou encore les radicaux libres ; la photo-oxydation par la lumière et l'oxydation enzymatique par la lipase) (Eymard, 2003). Par ailleurs, des procédés tels que l'hydrogénation des huiles transforment certains acides gras sous la forme trans, qui est associée à un risque accru de maladies cardiovasculaires (e.g., inflammation et calcification des cellules artérielles) (Kummerow, 2009; Dhaka et al., 2011).

L'abondance des additifs dans les formulations de produits transformés et donc les doses ingérées à l'échelle de la diète globale peuvent poser question vis-à-vis des dangers sur le long terme (Kumar et al., 2019). En effet, certains résultats — encore à l'échelle *in vitro* ou sur des modèles animaux — sont préoccupants quant à l'usage de certains additifs (Debras et al., 2022). On peut notamment citer des travaux mettant en avant l'altération du microbiote humain et l'inflammation intestinale induite *in vitro* par certains émulsifiants (e.g., le polysorbate 80, E433), colorants (e.g., le dioxyde titane, E171) et le carboxyméthylcellulose (agent de texture, E466) (Mercier-Bonin et al., 2016; Chassaing et al., 2017; Naimi et al., 2021). Les nitrites, conservateurs notamment très présents dans les charcuteries, sont les seuls pour lesquels un lien avec le cancer (colorectal) a été avéré (ANSES, 2022). En effet, des mécanismes de réaction avec le fer

héminique pour former des composés N-nitrosés sont avancés (Guéraud et al., 2023). Ainsi, les nitrites sont sujets à une campagne de réduction progressive de leurs teneurs, là où beaucoup d'industriels ont déjà développé des gammes « sans nitrites » (e.g., jambon sans nitrite). Ainsi, les additifs autorisés évoqués en section 1.1.1 (liste positive) par l'EFSA (European Food Safety Authority), sont amenés à être réévalués.

#### 1.1.3.2.2 Les risques nutritionnels

D'autres inconvénients, sur le plan nutritionnel, résident dans la perte de certains nutriments suite à l'application de certaines opérations unitaires, telles que la cuisson. Par exemple, certains micronutriments bénéfiques pour la santé tels que les caroténoïdes ou la vitamine C se retrouvent en moindre quantité dans des aliments cuits que crus (Miglio et al., 2008; Mohibbe Azam et al., 2021). Cela reste néanmoins à relativiser sur le plan global, avec la biodisponibilité accrue mentionnée en 1.1.3.1.2, ce qui tend à favoriser des traitements tels que la cuisson à la vapeur par rapport à la friture par exemple pour permettre une réduction moindre de ces teneurs en micronutriments, avec une biodisponibilité plus élevée (Gunathilake et al., 2018).

De même, la réaction de Maillard (**Figure 13**) implique la diminution de certains acides aminés essentiels (e.g., lysine) dans le produit final.

L'index glycémique des produits (e.g, céréales) peut également augmenter, de manière néfaste, lors de l'utilisation de certains procédés tels que la cuisson extrusion (Thielecke et al., 2021). Des procédés mécaniques comme le pétrissage ou la fermentation impactent également la densité et l'index glycémique du pain (Saulnier & Micard, 2012). De même, les multiples transformations subies par le produit peuvent avoir un impact sur sa structure, menant à des produits finaux plus palatables, nécessitant moins de mastication, pouvant induire une vitesse d'ingestion plus rapide et donc une plus grande quantité de calories ingérées par minute (Viskaal-van Dongen et al., 2011; Hall et al., 2019; Forde et al., 2020).

#### 1.1.3.2.3 Les risques organoleptiques

Les opérations de transformation peuvent impacter négativement la couleur des aliments, en particulier des végétaux dont la couleur devient moins intense après cuisson (Miglio et al., 2008). L'oxydation des lipides peut également être responsable de changements de goût (e.g., rance), de couleur ou de texture (Surai & Fisinin, 2010).

Ainsi, ce panorama non exhaustif permet d'illustrer les principaux services ou risques encourus par les transformations alimentaires vis-à-vis de la santé ou plus largement du bien-être du consommateur. Il est également à noter que la **Figure 10** se veut générique, elle est donc simplifiée car dans le détail, il faudrait nuancer selon le type de produit et selon le mode de transformation utilisé ; les considérations environnementales n'y ont par ailleurs pas été incluses. Nous allons maintenant définir différents modes de transformation existants et décrire leurs impacts connus sur les

qualités du produit.

#### 1.1.4 Les différents modes de transformation

Les transformations alimentaires peuvent se dérouler selon différents modes. L'étude individuelle nationale des consommations alimentaires (INCA 3) réalisée par l'ANSES (ANSES, 2017b) en distingue quatre :

- Fait-maison : préparé maison.
- Artisanal : préparé par un artisan (boulangerie, charcuterie, boucherie, poissonnerie, traiteur, marché, fermier).
- Industriel : fabriqué par un industriel ou un distributeur automatique (e.g., café, pizza).
- Restauration rapide : préparé par un service de restauration rapide (fast-food, sandwicherie, vendeur ambulancier).
- Autre : non fait-maison, préparé par un service de restauration classique (restaurant/bar), préparé par la cantine (scolaire/étudiante/d'entreprise), ou un autre mode de production.

Il est d'ailleurs précisé que les deux premières catégories peuvent inclure l'usage d'ingrédients industriels lors de la fabrication des aliments (e.g., une quiche maison faite à partir d'une pâte brisée industrielle). Afin d'éviter toute ambiguïté, ce paragraphe vise à donner une définition pour les termes qui seront par la suite utilisés. Ainsi dans ce manuscrit, nous appellerons mode de transformation l'un des trois modes suivants : industriel, artisanal ou domestique (i.e., fait maison) ; que nous distinguerons clairement des lieux de production et de vente, dont nous parlerons dans la section 1.1.4.2 qui suivra. De même, les modalités de livraison si elles s'appliquent (e.g., click&collect, Deliveroo, Uber Eats) n'auront pas d'influence sur le mode de transformation décrit (e.g., un produit artisanal livré par une multinationale de la livraison à domicile sera toujours considéré artisanal).

##### 1.1.4.1 Définitions existantes : artisanal, fait maison et industriel

###### 1.1.4.1.1 Produit artisanal – transformation artisanale

Dans sa définition de 1990, l'UNESCO « entend par produits artisanaux les produits fabriqués par des artisans, soit entièrement à la main, soit à l'aide d'outils à main ou même de moyens mécaniques, pourvu que la contribution manuelle directe de l'artisan demeure la composante la plus importante du produit fini. » (UNESCO & Centre du commerce international, 1997).

L'article 21 de la loi française n°96-603 du 5 juillet 1996 entend que pour prévaloir de la qualité d'artisan, cela nécessite une inscription au répertoire des métiers ou au registre des entreprises.

De même, pour nos voisins belges, le produit alimentaire artisanal doit

s'appuyer sur un des éléments suivants :

- La nature ou la qualité des ingrédients/composants et en particulier des ingrédients/composants principaux ou caractéristiques du produit final. Les ingrédients ou une partie substantielle des ingrédients doivent avoir des qualités intrinsèques (par exemple, non transformés, sans additifs etc).
- Le produit qualifié d'artisanal doit être la résultante d'un processus de fabrication, de transformation, de réparation ou de restauration dont les activités présentent des aspects essentiellement manuels, un caractère authentique, développant un certain savoir-faire axé sur la qualité, la tradition, la création ou l'innovation.
- La fabrication à petite échelle, voire très petite échelle. Exemple : une microbrasserie dont la production est limitée à quelques centaines d'hectolitres.

Il est de plus ajouté que « ces éléments ne peuvent être conjugués avec des éléments antinomiques » (e.g., un indépendant qui se présente comme vendeur de glaces artisanales, qui travaille seul ou avec une petite équipe, mais qui utilise des ingrédients comportant des additifs ou qui utilise des poudres et des mix prêts à l'emploi fabriqués par des entreprises industrielles) ([SPF Economie, 2022](#)).

#### 1.1.4.1.2 Produit fait maison – transformation domestique

La différence entre le fait maison et l'artisanal peut paraître plus délicate à distinguer, en comparaison avec l'industriel. On notera également que les termes anglais « craft » pour artisanal, et « handcraft » pour fait maison présentent également une forte ressemblance. Le terme sous-entend donc une transformation à la main, chez soi, dans sa cuisine — comme défini dans INCA3 avec une préparation domestique. C'est la définition que nous choisirons d'étudier dans cette thèse.

Néanmoins, le terme est employé bien plus largement et est sujet à un encadrement plus ou moins clair, comme cela peut être le cas pour les restaurants. Ainsi, dans son décret sur le « fait maison » d'Avril 2015, le gouvernement français définit clairement le plat « fait maison », comme « un plat, une entrée, un plat de résistance ou un dessert cuisiné sur place à partir de produits crus qui ont été réceptionnés par le restaurateur sans avoir été modifiés dans leur nature ». Il est de plus dit qu'il s'agit d'une « mention simple qui identifie un ou plusieurs plats » qui permet au client de distinguer « la cuisine entièrement réalisée sur place » et « à partir de produits crus transformés sur place de la cuisine d'assemblage » ([Ministère de l'économie, de l'industrie et du numérique & Secrétariat d'état au commerce, à l'artisanat, à la consommation et à l'économie sociale et solidaire, 2015](#)). Il est ainsi possible d'utiliser le logo spécifique « fait-maison » pour tout établissement de restauration et traiteurs (**Figure 14**) ou de simplement mentionner qu'il s'agit de produits faits maison. Cependant, il est également mentionné qu'il n'y a « aucune procédure de certification ou de labellisation, aucun examen de passage, aucun

contrôle préalable » ce qui laisse potentiellement place à des dérives dans l'utilisation de ce logo et de cette appellation « fait maison », malgré la possibilité de contrôle de la DGCCRF pouvant sanctionner les tromperies du consommateur. Davantage de précisions sont détaillées en **Figure supplémentaire 1**.



**Figure 14.** Illustration du logo « fait maison » en France.

#### 1.1.4.1.3 Produit industriel – transformation industrielle

Pour le Larousse<sup>1</sup>, le terme « industriel » renvoie à l'industrie, c'est-à-dire une « activité organisée de manière précise et sur une grande échelle », ou encore « l'ensemble des activités économiques qui produisent des biens matériels par la transformation et la mise en œuvre de matières premières ». Selon l'INSEE, « en première approximation, relèvent de l'industrie les activités économiques qui combinent des facteurs de production (installations, approvisionnements, travail, savoir) pour produire des biens matériels destinés au marché ». On retrouve donc cette notion de grande échelle, qui sous-entend à la fois des installations conséquentes ainsi qu'un nombre de salariés dans l'entreprise supérieur à 10, par opposition à l'appellation « artisanal ». Ainsi, la différence majeure avec les deux précédents modes de transformation présentés réside dans l'échelle de production, qui sous-entend des volumes de production et donc de vente plus conséquents. De plus, l'aspect organisationnel est mis en avant, avec généralement une division des tâches, les plus automatisées et spécifiques possibles. Cela sous-entend donc une forte mécanisation, avec par opposition à l'artisanat, une plus faible composante de la contribution manuelle des opérateurs.

Pour l'institut Carnot<sup>2</sup>, l'industrie agroalimentaire est « l'ensemble des activités industrielles qui transforment des matières premières issues de l'agriculture, de l'élevage ou de la pêche en produits alimentaires destinés essentiellement à la consommation humaine » et s'inscrit dans une forte logique de commercialisation.

Par ailleurs, le règlement UE 1169/2011 dit INCO vise quant à lui à simplifier et clarifier l'étiquetage des denrées alimentaires commercialisées dans l'Union

---

<sup>1</sup> <https://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/industriel/42742>

<sup>2</sup> <https://www.instituts-carnot.eu/fr/secteur/agroalimentaire>



Européenne : ainsi, l'étiquetage nutritionnel et la liste des ingrédients sont obligatoirement affichés sur les produits industriels, ce qui n'est pas nécessairement le cas pour des produits artisanaux ou faits maison.

#### 1.1.4.2 Distinction entre mode de transformation et lieux de production et de vente

Les modes de transformations artisanaux et industriels sont souvent associés aux lieux de ventes alors qu'il s'agit de deux notions indépendantes. En effet, tous les produits vendus en supermarché ne sont pas industriels, et il est tout à fait possible d'y trouver des produits artisanaux ou labellisés « fait maison » (exemple des cookies en **Figure 15**), ce qui pourrait faire référence à un diagramme de fabrication proche de celui fait à domicile, même s'il se distingue dans le volume de production ou les outils de production d'une réelle transformation à la maison.

De même, il est possible d'être confronté à des produits industriels dans une boulangerie ou sur un marché. Finalement, un produit servi en restaurant pourrait être un produit industriel préparé sur place, ou un produit intégralement préparé sur place se rapprochant plus de l'artisanat voire du fait maison.

Dans la suite de ce manuscrit et de nos travaux, nous nous référerons donc davantage au mode de transformation qu'aux lieux de consommation ou d'achat étant donné que ces derniers cachent une grande diversité et beaucoup d'ambiguïté.



**Figure 15.** Un exemple de cookie emballé, vendu comme artisanal et fait maison.

Après avoir défini les modes de transformation possibles, nous allons maintenant faire un état des lieux de l'impact de ces modes sur les qualités des produits.

#### 1.1.5 Impact des modes de transformation sur les qualités des produits

À notre connaissance, peu de travaux ont porté sur l'étude comparative des modes de transformation sur les qualités des produits. Néanmoins, quelques études ont porté sur l'étude de produits traditionnels tels que le fromage et les boissons alcoolisées et permettent de mettre en avant certaines différences entre les modes de production. Le **Tableau 4** dresse une synthèse des études existantes sur différents types de produits.



**Tableau 4.** Panorama des principales différences mises en avant par les études ayant comparé différents modes de transformation

Publication	Produit	Industriel	Artisanal	Fait maison	Principales différences	Pistes d'explication
Calais & Thituson 2021	Boulettes de viande				= : énergie, acides gras saturés, fer maison > industriel : protéines, calcium, potassium, magnésium, perte de matière (eau) à la friture, taille et poids d'une boulette	Ingrédients industriels : ↑ sel (car salage identique pour préparation), ↓ protéines (car moins de viande dans la recette) Mode de transformation : pas d'impact (sauf étape de friture très différente à la poêle en domestique) → effet recette
	Purées de pommes de terre	X		X	= : énergie, protéines, fibres, sel, potassium, magnésium maison > industriel : acides gras saturés, calcium, vitamine C	Ingrédients industriels : pomme de terre en poudre → pertes de minéraux, plus de surface d'échange donc plus d'oxydation ? Recette : ajout de beurre possible à la maison
	Pâtes bolognaise				= : énergie, sel, sucres ajoutés maison > industriel : protéines, vitamine A, fer, magnésium, potassium industriel > maison : acides gras saturés, calcium	Ingrédients industriels : ↓ viande (35% vs. 20% bœuf) donc ↓ protéines, fer, magnésium, potassium, ↓ légumes (34% vs. 20%) donc ↓ fibres Recette : carottes dans recette maison : ↑ vitamine A, mozzarella : ↑ acides gras saturés et calcium

Nacef et al. 2019	Fromages Maroilles	X	X		= : calcium, sodium, potassium, cadmium, zinc, cuivre, artisanal > industriel : pH, lipides, fer, dureté, L*, [entérobactéries] industriel > artisanal : protéines, cendres, magnésium, teneur en eau, activité de l'eau, collant, a*, b*, [bactéries mésophiles]	Procédés : ajout de bactéries pour avoir une coloration rouge de la croûte Hygiène moins stricte en artisanal : entérobactéries
Ballesteros et al. 2006	Fromages Manchego	X	X		artisanal > industriel : pH, sel, richesse du microbiome	Lait cru pour artisanal vs. lait pasteurisé pour industriel + ensemencement spécifique en industrie
Leggio et al. 2012	Saucisses fermentées	X		X	fait maison > industriel : protéines, [amines biogènes libres] industriel > fait maison : pH, [acides aminés totaux]	Ingrédients : plus de viande riche en protéines pour le fait maison Procédés : moins d'amines biogènes dans les industrielles car ensemencement avec Staphylococcus + conservateurs
Colín-Chávez et al. 2020	Tortillas de maïs	X	X		= : teneur en eau artisanal > industriel : protéines, calcium, cendres, phénols, anthocyanines, pouvoir antioxydant industriel > artisanal : lipides	Ingrédients : maïs ↑ protéines et anthocyanines (couleur bleue du maïs utilisé) pour artisanal → meilleur pouvoir antioxydant Fait maison : nixtamalisation à la chaux augmente le taux de cendres, et pourrait empêcher l'imprégnation du calcium dans le maïs

Ousaaid et al. 2022	Vinaigres de pomme	X	X		artisanal > industriel : pH, ° Brix, potassium, sodium, calcium, magnésium, fer, zinc, vitamine C, capacité antioxydante, inhibition de l' $\alpha$ -amylase et l' $\alpha$ -glucosidase industriel > artisanal : potassium	Artisanal : davantage de phénols donc davantage d'inhibition des deux enzymes Ingrédients : influence dans les teneurs en minéraux
Tomas et al. 2017	Sauces tomate	X		X	industriel > fait maison : capacité antioxydante, bioaccessibilité des antioxydants fait maison > industriel : teneur en eau	Impact du procédé
Dhuique-Mayer et al. 2018	Formulations infantiles	X		X	fait maison > industriel : [ $\beta$ -carotène] industriel > fait maison : bioaccessibilité, pertes en $\beta$ -carotène à la cuisson	Fait maison : $\uparrow$ taille de particules Procédés : pasteurisation faite maison entraîne moins de pertes que la stérilisation industrielle
Fromberg et al. 2014	Multiples produits (à base de viande, purées, sauces, gâteaux, pains...)	X		X	industriel > fait maison : [furanés]	Réaction de Maillard $\uparrow$ [furanés] pour les produits riches en glucides   réchauffage des produits $\downarrow$ [furanés]

### 1.1.5.1 Comparaison des recettes

Le travail de Calais & Thituson présente l'avantage de comparer une recette industrielle réalisée avec des équipements industriels, une recette industrielle réalisée avec des équipements domestiques, et une recette faite maison réalisée avec des équipements domestiques. Ainsi, il est possible de dissocier l'effet « recette » de l'effet « échelle de transformation » (Calais & Thituson, 2021). Ainsi, il a été mis en évidence que les différences observées n'étaient pas majoritairement dues à la transformation en elle-même mais aux ingrédients mis en œuvre dans la recette (**Tableau 4**). Et en effet, des différences en termes de proportions ont été observées avec davantage de viande dans les boulettes de viande maison et dans les pâtes bolognaise maison que celles industrielles. Et des différences en termes de qualité ont également été mises en évidence, à l'image des ingrédients globalement plus salés pour les boulettes de viande industrielles que celles faites maison (**Tableau 4**). Finalement, certains ingrédients ont été déclinés sous différentes formes comme pour la purée de pommes de terre, réalisée à partir de pommes de terre entières dans la préparation domestique, alors qu'il s'agissait de poudre de pommes de terre pour la préparation industrielle (Calais & Thituson, 2021).

De même, l'utilisation de levain (i.e., culture d'un mélange de farine et d'eau qui a pu fermenter) pour les pains artisanaux et faits maison est une spécificité de recette par rapport à la levure utilisée chez les industriels (ou pour certaines recettes artisanales ou faites maison). Ce dernier permet notamment de réduire l'index glycémique du pain, améliorer sa digestibilité et la bioaccessibilité et a un impact direct sur le goût (Canesin & Cazarin, 2021).

L'ensemencement des fromages peut également être considéré comme une différence du point de vue de la recette puisque les souches utilisées diffèrent généralement entre un fromage industriel où les souches sont précautionneusement sélectionnées (e.g., *Penicillium roqueforti*) et un fromage artisanal voire fait maison où les souches ne sont pas sélectionnées et les bactéries se développent librement (Ballesteros et al., 2006).

### 1.1.5.2 Comparaison des propriétés nutritionnelles

Les modes de production peuvent impacter les propriétés nutritionnelles des produits. En effet, pour les trois produits alimentaires modèles considérés par Calais & Thituson, les concentrations en micronutriments (e.g., potassium, magnésium) étaient globalement plus hautes dans les produits faits maison, ce qui s'explique notamment par la différence de recette (e.g., plus de viande pour les boulettes, plus de légumes pour la bolognaise) (**Tableau 4**) (Calais & Thituson, 2021).

Il a été montré que les Maroilles artisanaux étaient plus gras ( $28,55 \pm 1,18\%$  contre  $26,77 \pm 1,82\%$ ) et moins protéinés ( $20,61 \pm 0,61\%$  contre  $21,23 \pm 1,15\%$ ) que ceux industriels (Nacef et al., 2019). Des fromages Manchego artisanaux présentaient des teneurs en azote total supérieures à celles des industriels (Ballesteros et al., 2006),

ce qui suggère des taux en protéines plus élevés. Le degré Brix de vinaigres de pomme artisanaux était en moyenne plus élevé ( $6,37 \pm 0,04^\circ$ ) que celui des industriels ( $5,20 \pm 0,14^\circ$ ), autrement dit ils étaient plus riches en matière sèche soluble (e.g., sucres, acides) (Ousaaid et al., 2022). Des saucisses fermentées italiennes faites maison présentaient des teneurs en protéines plus élevées que les industrielles, pour des teneurs en lipides plus faibles (Leggio et al., 2012). Des tortillas de maïs artisanales (également décrites comme « faites maison » par un artisan par les auteurs) présentaient pour 100 grammes davantage de protéines et moins de lipides que celles commerciales, cela s'expliquant probablement par la variété de maïs utilisée (Colín-Chávez et al., 2020).

Par ailleurs, les Maroilles artisanaux étaient également plus riches en Fer et moins riches en magnésium que les industriels, les taux en calcium, zinc, sodium et potassium étant équivalents (Nacef et al., 2019). Les fromages Manchego artisanaux présentaient également des teneurs en sodium plus élevées que les industriels (Ballesteros et al., 2006). Les vinaigres de pomme artisanaux présentaient également des teneurs en calcium, zinc, sodium, potassium, magnésium, fer et vitamine C supérieures à celles des industriels ; et une teneur en phosphore inférieure (Ousaaid et al., 2022).

Après simulation *in vitro* de digestion, la sauce tomate industrielle présentait une meilleure biodisponibilité des antioxydants en comparaison avec la sauce faite maison (Tomas et al., 2017). De même, *in vitro*, une formulation infantile à base de patate douce faite maison présentait une biodisponibilité plus faible que la formulation industrielle (de par ses particules plus grosses) (Dhuique-Mayer et al., 2018).

L'activité inhibitrice de l' $\alpha$ -glucosidase et l' $\alpha$ -amylase (i.e., deux enzymes hydrolysant les carbohydrates) était plus forte dans les vinaigres de pommes artisanaux que ceux industriels car les artisanaux étaient plus riches en polyphénols (**Tableau 4**), ce qui sous-entend un bénéfice santé plus important avec des conséquences sur hyperglycémie postprandiale qui serait réduite (Ousaaid et al., 2022).

### 1.1.5.3 Comparaison des propriétés physico-chimiques

Des conséquences sur les propriétés physicochimiques ont également été démontrées dans la littérature. Par exemple, une étude sur des sauces tomate faites maison ou industrielles a montré que la sauce tomate faite maison avait une teneur en eau plus importante ( $91,0 \pm 0,8\%$ ) que celle faite industriellement ( $89,0 \pm 0,8\%$ ) à partir des mêmes tomates (ayant une teneur en eau initiale de  $93,3 \pm 0,7\%$ ) (Tomas et al., 2017). Dans le cas de Maroilles, la teneur en eau et l'activité de l'eau des artisanaux était plus faible que les Maroilles industriels (Nacef et al., 2019), aussi bien en surface qu'à cœur. Les propriétés de texture étaient également différentes : les artisanaux étaient plus résistants et moins collants que les industriels en surface. Des différences de couleur ont également été révélées, indiquant des fromages industriels plus oranges et plus sombres, que les artisanaux.

Concernant le pH, les Maroilles artisanaux présentaient un pH plus élevé que celui des industriels (Nacef et al., 2019). La même tendance a été observée pour des

fromages Manchego (Ballesteros et al., 2006), des vinaigres de pomme (Ousaaid et al., 2022), ou des saucisses fermentées italiennes) (Leggio et al., 2012).

La capacité antioxydante d'une sauce tomate préparée industriellement était supérieure à cette même sauce préparée de manière domestique (Tomas et al., 2017). De même, les vinaigres de pomme artisanaux possédaient une capacité antioxydante plus de deux fois supérieure à celle des vinaigres industriels (à la fois en capacité totale et via le test DPPH évaluant la capacité à donner des atomes d'hydrogène) (Ousaaid et al., 2022).

Les profils en métabolites diffèrent également entre des produits industriels et faits maison. Par exemple, des sauces tomates faites maison contenaient davantage de naringinine (i.e., une flavanone présente dans certains agrumes) (mesuré par analyse LC-QTOF-MS) que celles industrielles (Tomas et al., 2017). Les profils en métabolites présents dans les bières artisanales et industrielles ont également présenté des différences, en particulier avec l'adénosine, l'inosine et le tréhalose davantage présents dans celles industrielles, à l'inverse de l'asparagine, le lactate, l'acétate et le succinate plus concentrés dans les artisanales (Palmioli et al., 2020). Les vinaigres de pomme artisanaux ont présenté des teneurs en phénols et flavonoïdes supérieures à celles des industriels (Ousaaid et al., 2022). Des saucisses fermentées italiennes faites maison ont révélé un taux d'amines biogènes libres (i.e., des molécules de faible poids moléculaire reflétant l'activité microbienne décarboxylant les acides aminés) plus fort et un taux d'acides aminés totaux plus faible que les industrielles (Leggio et al., 2012).

Il a été relevé dans les travaux de Fromberg et al. que les taux de furanes dans les produits faits maison avaient tendance à être plus faibles que dans les produits industriels, en particulier pour les sauces, le pain et les fruits secs (Fromberg et al., 2014).

#### 1.1.5.4 Comparaison des microbiomes des aliments

Les profils microbiens de Maroilles industriels et artisanaux ont révélé des différences, à la fois au niveau du cœur et de la surface (Nacef et al., 2019). Par exemple, davantage de bactéries lactiques ont été retrouvées à la surface des fromages industriels par rapport aux artisanaux, mais moins à cœur comparé à ces derniers. En revanche, tant à cœur qu'en surface, davantage d'entérobactéries ont été détectées dans les fromages artisanaux par rapport aux fromages industriels, ce qui dénote une plus forte contamination et une moindre qualité sanitaire (Nacef et al., 2019). Finalement, les deux types de fromages étaient comparables en termes de levures et moisissures. La comparaison entre des fromages Manchego artisanaux et industriels a mis en évidence la plus grande diversité de souches présentes dans les fromages artisanaux (*Lactococcus*, *Lactobacillus*, *Leuconostoc* et notamment la présence d'*Enterococcus*) en comparaison aux industriels (seulement des *Lactococcus* identifiés) (Ballesteros et al., 2006). Il est également intéressant de noter que la souche présente dans les Manchego industriels présentait la plus forte activité acidifiante, en lien avec une sélection des souches optimales.

### 1.1.5.5 Comparaison des propriétés organoleptiques

Des différences de perceptions ont été identifiées dans la littérature entre produits artisanaux et industriels. Le travail sur les Maroilles a montré des différences organoleptiques entre des Maroilles artisanaux (qualifiés de « jaune », « floral », « fumé », « étable ») et des industriels (qualifiés de « beige », « salé », « collant », à l'odeur « déplaisante ») (Nacef et al., 2019). Les fromages Manchego artisanaux ont pour leur part été décrits avec un goût plus persistant et une odeur plus intense, plus piquante, de lait de brebis, acide, épicé et amer plus prononcé que pour les industriels (Ballesteros et al., 2006).

Des pâtes de campagne traditionnels ont été jugés plus marron et moins rose que les industriels, et contenant davantage de morceaux de gras au visuel (Siret & Issanchou, 2000). Ils étaient de plus moins sucrés, plus secs, moins lisses, plus élastiques, plus granuleux et avec un goût moins prononcé d'oignon en comparaison aux pâtes industriels.

De plus, et bien que des différences sensorielles ont été observées, en l'absence d'information, les pâtes traditionnels étaient autant appréciés que les industriels (Siret & Issanchou, 2000). Les mêmes résultats ont été observés pour des fromages Provolone industriels et artisanaux (Di Monaco et al., 2005). Par contre, dans le cas de bières artisanales, ces dernières ont été évaluées de meilleure qualité par les consommateurs que celles industrielles, et avec une plus grande diversité de notes aromatiques perçues (e.g., orge maltée, châtaigne, miel) (Aquilani et al., 2015; Carvalho et al., 2018).

En termes d'appréciation, lors de l'évaluation de cake jambon-olives, une étude récente a montré que la version faite maison était plus appréciée ( $7,0 \pm 1,7$ ) que la version industrielle ( $5,6 \pm 2,2$ ) (Galiñanes Plaza et al., 2019).

La littérature actuelle nous permet donc de constater que les produits issus de différents modes de production peuvent différer sur certains paramètres. Les travaux sont relativement peu nombreux et concernent quelques exemples de produits et ne comparent en général que deux modes entre eux (artisanal *versus* industriel ou fait maison *versus* industriel) (**Tableau 4**). Les différences observées dans cette section sont grandement dépendantes du produit et ne peuvent pas permettre de tirer des conclusions générales. Il est aussi à noter qu'aucun article à notre connaissance n'a tenté de faire cette comparaison sur les trois modes de production étudiés dans cette thèse.

Cette première section a permis de retracer un historique du développement des transformations alimentaires dans le paysage industriel français, en définissant les termes associés tels que les modes de transformation.

Les services rendus par ces transformations ainsi que les risques associés ont été présentés. Les travaux de la littérature ont montré que le mode de transformation pouvait impacter les qualités des produits alimentaires, jusqu'à la perception et l'appréciation par les consommateurs. Cependant, ces travaux existant portent essentiellement sur des comparaisons entre produits industriels et faits maison, ou artisanaux et industriels, mais pas entre les trois modes de transformation.

Il y a donc des différences liées aux modes, échelles, et types de transformations entre les produits, et il est nécessaire pour aller plus loin dans les études (notamment épidémiologiques) de classer les aliments. Il existe en effet différentes classifications des aliments selon leur degré de transformation, avec différents objectifs, sur lesquelles nous allons maintenant nous attarder.

## 1.2 CLASSIFICATION DU DEGRÉ DE TRANSFORMATION DES ALIMENTS

Constatant la progression de la part des aliments transformés dans la diète, et afin d'aller plus loin que le dogme nutritionnel considérant l'aliment comme la somme de ses nutriments, des chercheurs se sont penchés sur l'impact de la transformation des aliments sur la qualité des régimes. Afin d'en rendre compte, différents systèmes de classification reposant sur le degré de transformation des aliments ont été proposés. Les principaux seront d'abord présentés et discutés.

### 1.2.1 Présentation de différentes classifications existantes

Les principales classifications sont présentées par ordre chronologique de développement (**Tableau 5**). En complément, ces classifications ont été décrites plus en profondeur dans des revues récentes ([Sadler et al., 2021](#); [Suchon & Braesco, 2022](#)).



**Tableau 5.** Particularités des principales classifications des aliments selon leur degré de transformation.

Nom de la classification	Publication de référence	Communauté scientifique	Nationalité	Nombre de groupes distincts (en incluant les sous-catégories)	Prise en compte du mode de transformation (e.g., artisanal, fait maison)	Prise en compte de l'aspect traditionnel	Prise en compte du type d'opération unitaire	Prise en compte des additifs	Prise en compte de la formulation (e.g., ingrédients industriels)	Prise en compte de la dimension nutritionnelle	Prise en compte des modalités d'usage (prêt à consommer)
NIPH	(González-Castell et al., 2007)	Nutrition (épidémiologie)	Mexicaine	3 (6)	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗
IARC-EPIC	(Slimani et al., 2009)	Nutrition (épidémiologie)	Européenne	3 (5)	✓ (100% industriels)	✗	✓	✗	✗	✗	✓
NOVA	(C. A. Monteiro et al., 2010, 2016)	Nutrition	Brésilienne	4	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✓
IFPRI	(Asfaw, 2011)	Nutrition / Économie	Guatémaltèque	3	✗	✗	✓	✗	✗	✗	✗
IFIC	(Eicher-Miller et al., 2012, 2015)	Nutrition (épidémiologie)	Américaine	5 (7)	✓	✗	✓	✗	✗	✗	✓
FSANZ	(Standard 3.2.2 - Food Safety Practices and General Requirements, 2014)	Nutrition	Australienne et Néozélandaise	2	✗	✗	✓	✗	✗	✗	✗
USP	(Louzada et al., 2015)	Nutrition (épidémiologie)	Brésilienne	3	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✓
UNC	(Poti et al., 2015)	Nutrition (épidémiologie)	Américaine	3 (7)	✓ (100% industriels)	✗	✓	✓	✓	✗	✓
SIGA	(Fardet, 2018; Davidou et al., 2020, 2021)	Nutrition / Génie des procédés	Française	7 (10)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗

### 1.2.1.1 NIPH

La première classification selon le degré de transformation des aliments a été proposée par le National Institute of Public Health in Mexico (NIPH) en 2007 ([González-Castell et al., 2007](#)). Décrite en espagnol, cette dernière distingue les aliments dits « locaux », produits à petite échelle (i.e., artisanaux et faits maison) (e.g., issus de boutiques de tortillas, de boulangeries) des aliments industriels. Il y a également une distinction entre les aliments traditionnels (e.g., produits à base de maïs, de lait de chèvre) et modernes (i.e., apparus au cours des dernières décennies dans le régime alimentaire mexicain, comme les boissons gazeuses, les frites ou les pizzas). Cette première classification repose davantage sur les pratiques culturelles et sociales, et ne décrit que peu les technologies employées ou les formulations (e.g., ingrédients, additifs).

### 1.2.1.2 IARC-EPIC

En 2009, un autre système de classification a été proposé en Europe, par des chercheurs de l'International Agency for Research on Cancer (IARC) ([Slimani et al., 2009](#)). Trois grandes catégories sont données pour les produits industriels :

- Les aliments non transformés : consommés crus sans autre transformation que le lavage, le découpage, l'épluchage ou le pressage (e.g., noix, crustacés, fruits, jus frais).
- Les aliments moyennement transformés : comprenant les aliments industriels relativement peu transformés et consommés sans autre cuisson (e.g., fruits secs, aliments crus sous vide, fruits et légumes en conserve dans l'eau, huile d'olive extra vierge) ; et les aliments préparés à domicile, à partir d'aliments crus ou modérément transformés (e.g., légumes, viande et poisson cuits à partir d'ingrédients frais, emballés sous vide, surgelés ou en conserve dans l'eau ou la saumure).
- Les aliments très transformés : préparés industriellement, ne nécessitant que peu ou pas de préparation domestique au-delà du réchauffage (e.g., pain, fromage, sauces, produits en conserve).

### 1.2.1.3 NOVA

L'équipe brésilienne de Carlos Monteiro figure également parmi les pionnières ayant travaillé sur le sujet ([C. A. Monteiro et al., 2010](#)). La classification NOVA est d'ailleurs la plus démocratisée et grandement reprise par les scientifiques et les médias. Elle décline quatre catégories :

- NOVA1, aliments peu ou pas transformés : denrées non transformées végétales (e.g., graines, fruits, racines) ou animales (e.g., muscle, œufs, lait). Cela inclut les aliments naturels modifiés par des procédés tels que le séchage, le broyage, la filtration, la torréfaction, la pasteurisation, la congélation et la fermentation non alcoolique. Il n'y a pas d'ajout de substance comme le sel, le sucre ou l'huile. Les

mélanges d'éléments NOVA1 tels qu'un mélange de fruits secs restent NOVA1. Il est possible de compléter en vitamines et minéraux (e.g., farine de blé enrichie en fer ou en acide folique). Dans de rares cas, ces denrées peuvent contenir des additifs visant à préserver les propriétés de l'aliment originel (e.g., lait pasteurisé avec des stabilisants, légumes sous vides avec des antioxydants).

- NOVA2, ingrédients culinaires transformés : substances obtenues du groupe 1 après des procédés tels que le pressage, le raffinage et le séchage. Ce sont des produits rarement consommés seuls, tels que le sucre, le sel, le miel, les huiles végétales, le beurre et l'amidon. Là encore, les mélanges tels que le beurre salé ou les suppléments en vitamines ou minéraux restent en NOVA2. Le vinaigre obtenu par fermentation acétique est également dans ce groupe.
- NOVA3, aliments transformés : ce sont des combinaisons relativement simples, généralement de deux ou trois ingrédients des catégories inférieures. Les procédés impliqués sont des procédés de conservation ou de cuisson, ou de fermentation non alcoolique pour les pains et les fromages. Il s'agit donc d'aliments tels que les fruits en conserve, les noix et graines salées ou sucrées, les viandes salées ou fumées, ou encore les fruits au sirop. Les additifs préservant les propriétés originelles du produit ou luttant contre la contamination microbienne sont autorisés (e.g., viande salée séchée avec conservateurs, fruits au sirop avec antioxydants). Les boissons alcoolisées issues de fermentation de produits du groupe 1 (e.g., bière, cidre, vin) sont également en NOVA3.
- NOVA4, aliments ultra-transformés : formulations industrielles contenant généralement cinq ingrédients ou plus. Ces produits peuvent contenir des ingrédients propres à ce groupe tels que des substances généralement peu utilisées en cuisine (e.g., gluten, caséine, sucre inverti) ou encore des additifs dont le but est d'imiter les produits du groupe 1 (e.g., colorants, exhausteurs de goût). Ce sont généralement des produits nécessitant peu de préparation, visuellement attractifs, hyperpalatables, avec un marketing agressif et une forte rentabilité. Certains procédés sont exclusifs à ce groupe, comme la cuisson-extrusion ou la pré-friture. Les boissons alcoolisées issues de fermentation de produits du groupe 1 puis distillées (e.g., whisky, gin, rhum, vodka) sont également en NOVA4.

#### 1.2.1.4 IFPRI

L'International Food Policy Research Institute (IFPRI) du Guatemala a proposé en 2011 une classification en trois groupes sur la base de 94 aliments génériques (Asfaw, 2011) :

- Les aliments non transformés (44/94) : fruits, légumes, racines, tubercules, graines, haricots, viande, poisson, œufs, produits laitiers (lait frais, lait en poudre et crème).

- Les aliments transformés primaires (19/94) : aliments ayant subi une première transformation comme les produits à base de maïs (e.g., tortillas), le pain, les huiles végétales, les produits laitiers travaillés (e.g., fromage, yaourt), les graisses animales (beurre, saindoux).
- Les aliments hautement transformés (31/94) : aliments ayant subi une transformation secondaire les rendant prêts à manger. Ils contiennent généralement de fortes teneurs en sucres ajoutés, lipides et sel (e.g., cookies, glaces, confiserie, pâtes, saucisses, céréales du petit-déjeuner, sodas).

### 1.2.1.5 IFIC

L'International Food Information Council (IFIC) a proposé dès 2012 une classification en cinq grandes catégories (Eicher-Miller et al., 2012) :

- Les aliments peu transformés (e.g., lait de vache, salades, noix torréfiées, grains de café, œufs)
- Les aliments transformés pour leur préservation : (e.g., conserves de fruits et légumes en conserve ou surgelés, soupes faites à partir de légumes en conserve ou bouillon)
- Les mélanges d'ingrédients, divisés en deux sous-catégories :
  - Les mélanges emballés et sauces en pot (e.g., soupe en conserve ou déshydratée, mélange d'épices, riz instantané)
  - Les mélanges probablement préparés à la maison (e.g., pain, fromage, gâteaux)
- Les aliments prêts à manger, également divisés en deux sous-catégories :
  - Les aliments emballés prêts à être consommés (e.g., sodas, cookies, gâteaux, yaourts, bière, vin, chips)
  - Les mélanges probablement préparés en magasin (e.g., poulet rôti)
- Les aliments/plats préparés (e.g., pizza, nuggets de poulet, plats préparés surgelés)

### 1.2.1.6 FSANZ

La Food Standards Australia New Zealand (FSANZ) a proposé en 2014 une dichotomie « transformé » / « non transformé », en précisant que la transformation inclut le hachage, la cuisson, le séchage, la fermentation, le chauffage, la pasteurisation, la décongélation et le lavage, ou une combinaison de ces opérations (Standard 3.2.2 - Food Safety Practices and General Requirements, 2014).

### 1.2.1.7 USP

Des chercheurs de l'université de São Paulo (USP) ont également proposé dans des travaux de 2015 une variante de la classification NOVA, en trois catégories (Louzada et al., 2015) :

- Les aliments naturels ou peu transformés : équivalent à NOVA1, mais inclut également les ingrédients culinaires en NOVA2.
- Les aliments transformés : équivalent à NOVA3.
- Les aliments ultra-transformés : équivalent à NOVA4.

### 1.2.1.8 UNC

La classification UNC a été proposée par les chercheurs de l'université de Caroline du Nord à partir des travaux de Monteiro et al. (Poti et al., 2015). Elle définit trois grandes catégories, elles-mêmes sous-divisées :

- Les aliments les moins transformés :
  - Les aliments pas ou peu transformés : aucune ou très légère modification qui ne change pas les propriétés inhérentes de l'aliment tel qu'il se trouve dans sa forme naturelle (e.g., lait frais entier, noix brutes, viande non assaisonnée, crème, miel, poivre).
  - Les ingrédients basiques transformés : isolés et obtenus par extraction ou purification à l'aide de procédés physiques ou chimiques modifiant les propriétés inhérentes de l'aliment (e.g., jus de fruits non sucré, blanc d'œuf, farine complète, pâtes complètes, huile, beurre, sel).
  - Les aliments transformés pour leur préservation ou précuits : modifiés par des procédés physiques ou chimiques à des fins de conservation ou de précuisson, mais restant sous la forme d'aliments simples (e.g., poudre de lait, café instantané, viande en conserve non assaisonnée, riz blanc, yaourt nature).
- Les aliments transformés modérément :
  - Les aliments modérément transformés dans un but gustatif : ajout d'additifs pour exhausser le goût, aliments directement reconnaissables comme source végétale/animale d'origine (e.g., jus de fruits sucré, frites surgelées, noix salées, fromage, beurre salé, viande en conserve assaisonnée).
  - Les aliments à base de céréales modérément transformés : produits céréaliers fabriqués à partir de farines de céréales complètes avec de l'eau, du sel, et/ou de la levure (e.g., pains complets, tortillas, crackers, céréales prêtes à l'emploi sans sucre ou gras ajouté).
- Les aliments fortement transformés : mélanges industriels formulés, transformés

à un point où ils ne sont plus reconnaissables comme leur source végétale/animale d'origine, divisés en 2 sous-ensembles :

- Ingrédients fortement transformés : généralement consommés par addition (e.g., sauce tomate, croûtons de pain, mayonnaise, margarine).
- Produits autonomes fortement transformés : généralement consommés tels quels (e.g., soda, alcool, saucisses, nuggets, pain, glace, bouillon).

#### 1.2.1.9 SIGA

Finalement, la société Siga (existant depuis 2017 et basée en France) a proposé une classification du même nom, qui est une des plus récentes. Ce système présenté dès 2018 (Fardet, 2018) se veut être un indicateur pour aider le consommateur dans ses choix alimentaires, et également un support aux industriels pour améliorer et concevoir leurs produits. Cette classification reprend la classification NOVA en y apportant plus de détails, notamment sur le groupe NOVA4 qui considère équivalents tous les produits ultra-transformés.

Ainsi, la classification Siga s'appuie sur le degré de transformation, la liste des ingrédients (e.g., type d'ingrédients et additifs) et les valeurs nutritionnelles des produits (avec des seuils à ne pas dépasser tirés de la Food Standards Agency pour 100 g de produit : 1,5 g de sel, 12,5 g de sucre et 17,5 g de gras pour les aliments et 0,75 g de sel, 6,25 g de sucre et 8,75 g de lipides pour les boissons). Certains additifs sont également qualifiés à risque, d'après les rapports de l'EFSA et de l'ANSES. En particulier, les marqueurs de l'ultra-transformation (MUP) sont un critère de classification et se distinguent en deux groupes :

- MUP1 : identiques aux substances naturelles, ils sont obtenus par synthèse chimique et par des procédés successifs conduisant à la purification, ou à une forte détérioration de la matrice de l'ingrédient (e.g., protéines isolées, amidons, arômes naturels, extraits de levure, ascorbates).
- MUP2 : obtenus par synthèse chimique artificielle ou par des procédés successifs conduisant à la fois à la purification et à la détérioration substantielle de la matrice (e.g., sirop de glucose, dextrose, protéines hydrolysées, carboxyméthylcellulose, polyols, huiles hydrogénées).

Au total, dix groupes semblent se distinguer à l'heure actuelle ; bien que dans sa définition de 2021 la classification ne comprenne que 9 groupes avec une fusion des groupes A1 et A2, décrits en **Figure 16**).

	Definition	Degree of processing	Substance assessed at risk	Nutritional thresholds
<b>Unprocessed foods</b>				
<b>A0</b>	No process except cutting or peeling	No MUP ✓	No at risk substances ✓	Not taken into account
<b>Minimally processed (including culinary ingredients)</b>	Physical and/or thermal treatment without purification or denaturation			
<b>B1</b>	Adding culinary ingredients (A2) to a preparation			
<b>High salt, sugar and/or fat level processed foods</b>				
<b>B2</b>			Low	High
<b>Nutritionally balanced ultra-processed foods level 0</b>				
<b>C01</b>	Ultra-processed foods with only one MUP1	Only one MUP1	No at risk substances ✓	Low
<b>High salt, sugar and/or fat level ultra-processed foods level 0</b>				
<b>C02</b>				High
<b>Ultra-processed foods level 1</b>				
<b>C1</b>	Ultra-processed foods with multiple MUP1	Limitation of the number of MUP1		
<b>Ultra-processed foods level 2</b>				
<b>C2</b>	Ultra-processed foods which may present several MUP1 and/or MUP2 and/or additives evaluated at risk	Presence of MUP1 Possible presence of MUP2	Possible presence of substances evaluated at risk	Not taken into account
<b>Ultra-processed foods level 3</b>				
<b>C3</b>				

**Figure 16.** Classification Siga<sup>®</sup> et représentation des neuf groupes avec des exemples et leurs particularités (Davidou et al., 2021). MUP = Markers of ultra-processing.

Ce panorama a ainsi permis d'apprécier les particularités des neuf classifications des aliments selon leur degré de transformation, ce qui soulève la question de la cohérence et des différences entre elles.

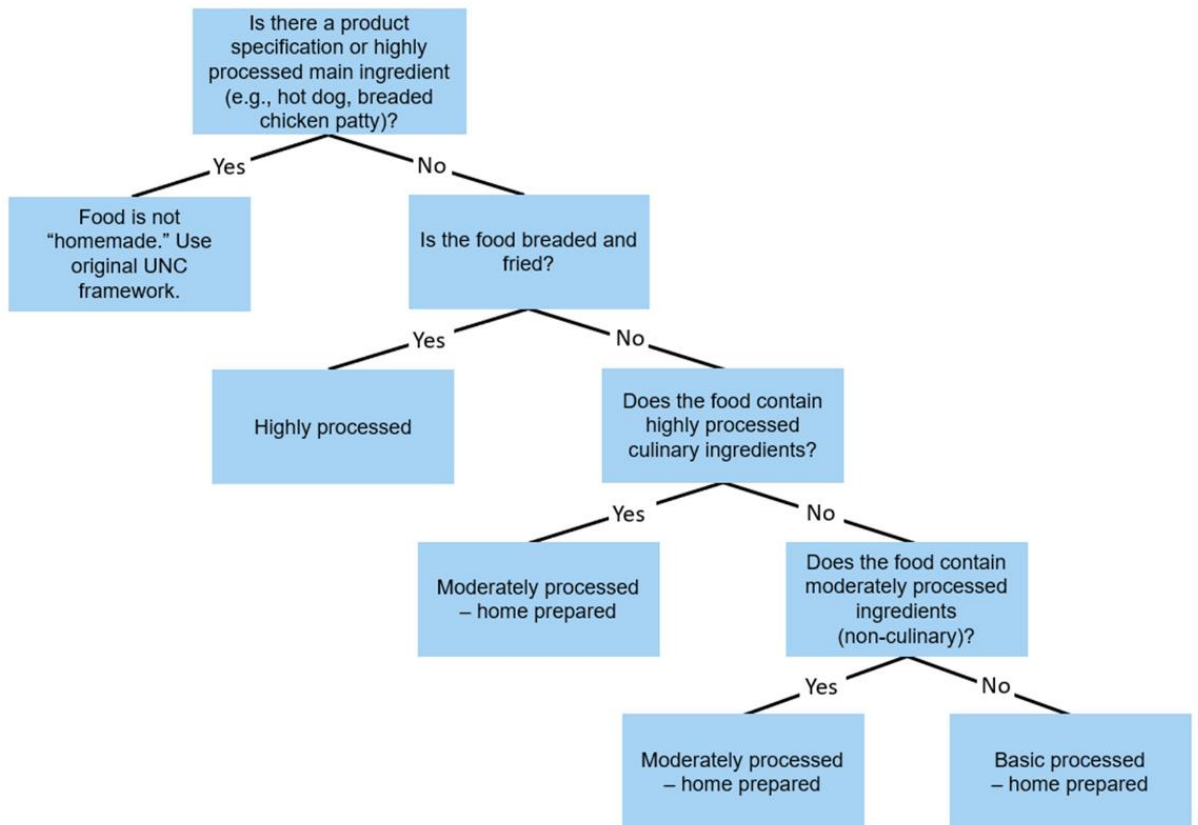
## 1.2.2 Robustesse et complexité d'application de ces classifications

En effet, la multitude de classifications existantes laisse penser qu'il est difficile de trouver un consensus pour classer de manière homogène les aliments selon leur transformation. D'autres problématiques peuvent également rendre difficile l'application de ces classifications.

### 1.2.2.1 *Le manque d'informations disponibles*

La large majorité des classifications présentées précédemment présupposent de connaître la liste des ingrédients (e.g., NOVA), les processus de fabrication (e.g., IFPRI), voire les qualités nutritionnelles du produit (e.g., SIGA). Cependant, ces informations ne sont pas toujours disponibles, notamment pour les produits artisanaux et faits-maison. Ainsi, certains systèmes tels que IARC-EPIC et UNC ont clairement stipulé qu'ils ne prenaient en compte que les produits industriels, ce qui réduit le nombre de produits sans information. D'autres classifications comme IFIC font des hypothèses et parlent par exemple de plats « probablement préparés à la maison ». Bleiweiss-Sande et al. ont illustré cette démarche en reprenant des données épidémiologiques issues de rappels des 24h de la National Health and Nutrition Examination Survey en faisant l'hypothèse que certains plats étaient faits maison. Comme décrit dans l'arbre de décisions **Figure 17**, le but était de proposer une classification alternative au système UNC prenant en compte les aliments faits maison. Ces travaux ont montré que le mode de processing avait une influence sur le degré de transformation des aliments considéré (Bleiweiss-Sande et al., 2020).





**Figure 17.** Arbre de décisions permettant de déterminer si un aliment est probablement fait maison (Bleiweiss-Sande et al., 2020).

Eicher-Miller et al. ont précisé avoir fait une catégorie spéciale pour les produits issus des restaurants, écoles ou établissements particuliers pour cause d'informations insuffisantes (Eicher-Miller et al., 2012).

### 1.2.2.2 Des règles et descriptions imprécises et qui parfois se contredisent

De plus, certaines classifications souffrent d'un manque de précision dans la description de leurs différentes catégories. Des éléments de vocabulaire flous tels que « souvent » ou « généralement » ajoutent également de l'imprécision. En effet, les préceptes généraux sont donnés mais certains cas particuliers peuvent être délicats à gérer et laissent place à l'interprétation de l'évaluateur. Dans certains cas comme pour l'UNC ou l'IFPRI dans une moindre mesure, le détail de nombreux aliments déjà classés est fourni (en données supplémentaires par exemple) afin de fournir une base de données (Poti et al., 2015).

Une étude en ligne sur plus de 2 000 participants a montré que les participants étaient globalement capables de définir ce qu'étaient les produits ultra-transformés. Néanmoins, certains aliments des catégories NOVA3, NOVA2 voire NOVA1 étaient perçus ultra-transformés (i.e, NOVA4) (Ares et al., 2016). Cela a été confirmé en 2016, sur un échantillon de Brésiliens de 24 ans travaillant sur le site de l'université de

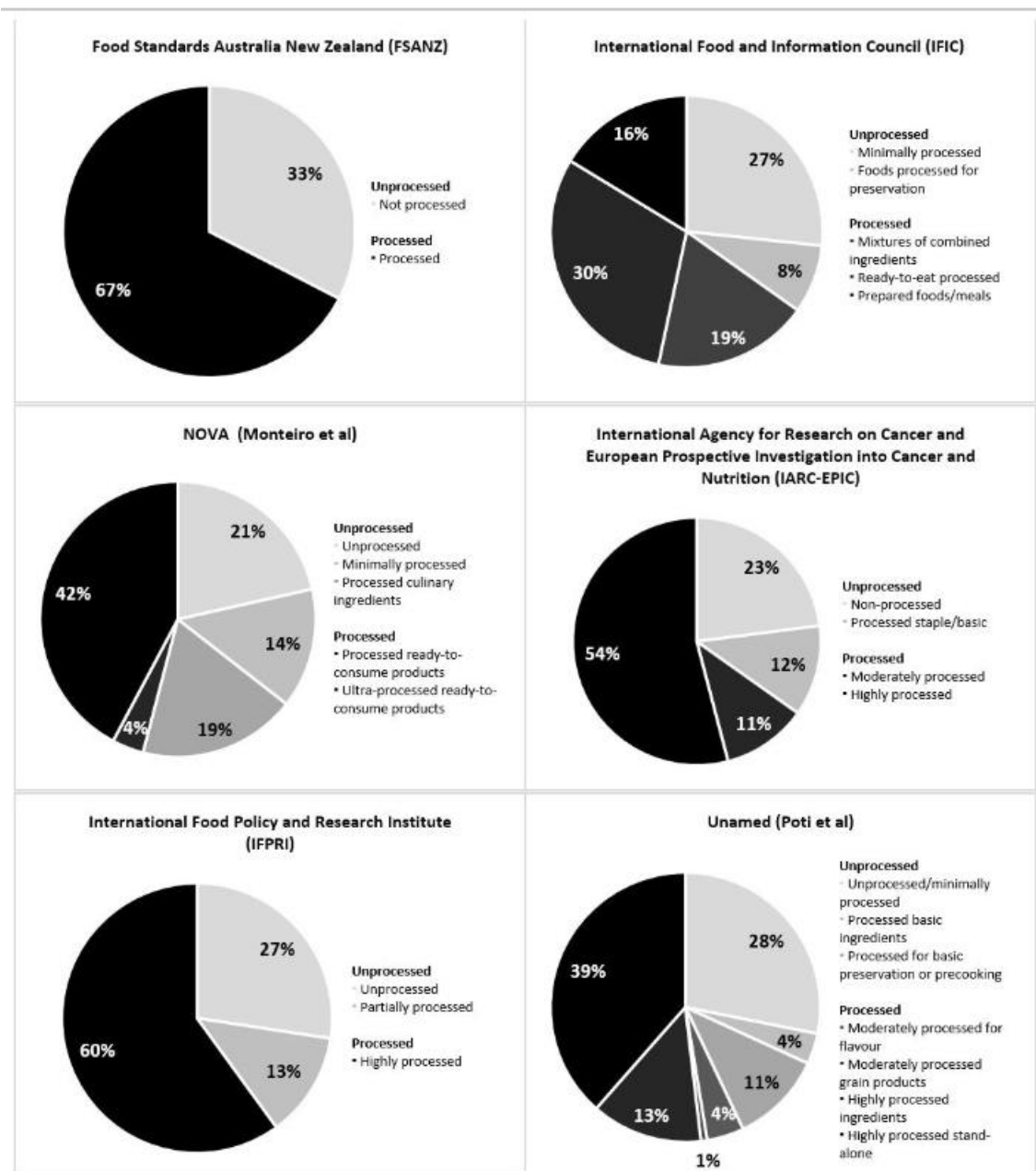
Dourados (i.e., professeurs, techniciens et étudiants) (Menegassi et al., 2020). Il y a été mis en évidence que les catégories NOVA1 et NOVA4 (aliments peu transformés et ultra-transformés, respectivement) étaient les mieux comprises par le panel, alors que les ingrédients culinaires transformés et les aliments transformés suscitaient davantage de confusion. Des travaux récents sur une population de plus de 2 000 Brésiliens confirment la complexité pour le public de comprendre la classification selon le degré de transformation des aliments, avec plus de 85% d'entre eux ne comprenant pas les définitions et concepts de classement des aliments (J. S. Monteiro et al., 2022).

Même chez les professionnels, la classification effectuée peut varier d'un individu à l'autre. Deux diététiciens ont montré que leurs classifications de 100 aliments parmi les plus consommés présentaient une corrélation de 0,97 pour le système UNC, 0,78 pour le système IFIC et 0,76 pour NOVA (coefficient de corrélation  $r$  de Spearman, égal à 1 en cas de corrélation parfaite) (Bleiweiss-Sande et al., 2019). De même, afin de classer 135 catégories d'aliments, deux chercheurs ont montré un accord parfait pour le système UNC, 1,5% de désaccord pour le système IFIC, 6,7% pour IARC-EPIC et IFPRI, 8,1% pour NOVA et 8,9% pour FSANZ (Crino et al., 2017). Finalement, sur un panel plus large de plus de 150 spécialistes en alimentation et nutrition, l'accord pour catégoriser 120 produits commerciaux (avec liste des ingrédients) et 111 aliments génériques (sans liste des ingrédients) selon NOVA était relativement faible ( $\kappa$  de Fleiss = 0,32 et 0,34, respectivement) avec un quart des aliments de chacune des listes qui n'ont montré aucun accord entre les experts pour classer ces aliments dans l'une des quatre classes NOVA (Braesco et al., 2022).

### 1.2.2.3 Consensus entre les différentes classifications

La hiérarchisation par groupes selon le degré de transformation des différents systèmes — de 2 à 7 voire 10 groupes en incluant les sous-groupes — laisse présager de la différence de niveau de détails entre les différentes classifications. L'exemple du riz blanc permet de voir que les tendances varient entre les classifications. En effet, ce dernier est considéré comme non transformé d'après NOVA (catégorie 1/4), alors qu'il apparaît comme transformé pour la classification IFIC (catégorie 3/5) et UNC (catégorie 3/7), voire très transformé pour IARC-EPIC (catégorie 3/3).

Plus généralement, la **Figure 18** permet visuellement de constater les différences en termes de catégories de transformation attribuées à différents aliments, avec notamment de 46% à 67% d'aliments qualifiés de transformés selon les classifications (Crino et al., 2017).



**Figure 18.** Répartition de 135 catégories d'aliments dans les différents degrés de transformation pour six systèmes de classification (Crino et al., 2017).

Dans un cas plus concret, les classifications NOVA, IARC, IFIC, et UNC ont été utilisées sur plus de 5 000 participants afin de caractériser leur alimentation en lien avec les risques de maladies cardiovasculaires (Martinez-Perez et al., 2021). Des conclusions différentes ont été tirées selon la classification utilisée, avec des consommations d'aliments ultra-transformés allant de 45,9% (IARC) à 7,9% (NOVA).

Les opérations unitaires permettant de catégoriser certains produits sont également traitées différemment selon les classifications. Par exemple, pour le système IARC-EPIC, les opérations telles que la pasteurisation, la fermentation, le fumage et la

salaison sont associées à la catégorie « fortement transformé », tandis qu'elles seraient selon NOVA « peu transformé » (NOVA1) ou « transformé » (NOVA3) (Sadler et al., 2021).

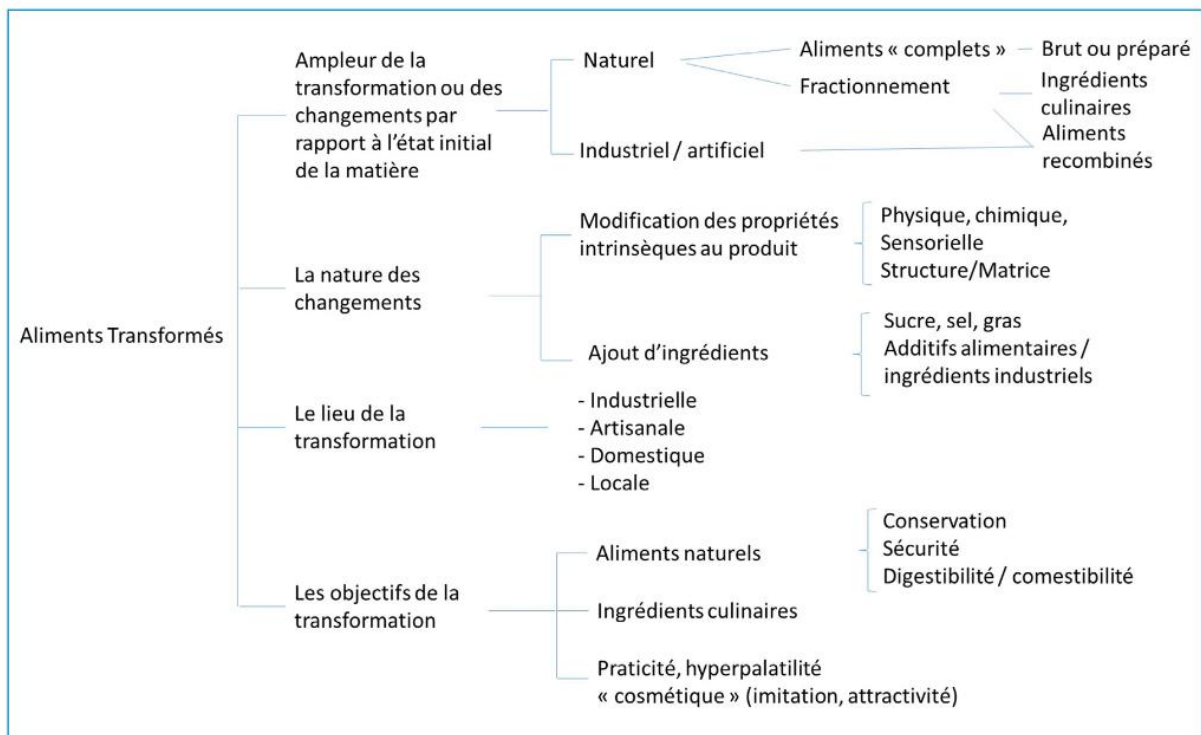
Ainsi, la comparaison faite sur 100 aliments fortement consommés entre NOVA et IFIC a donné un accord de 70% ( $\kappa$  de Fleiss = 0,48) ; 75% entre IFIC et UNC ( $\kappa$  de Fleiss = 0,59) et 76% entre NOVA et UNC ( $\kappa$  de Fleiss = 0,54). Autrement dit, les accords étaient modérés pour toutes ces comparaisons, ce qui implique une cohérence globale (Landis & Koch, 1977), mais néanmoins loin d'être parfaite.

La prise en compte de l'intégralité du chemin de la fourche à la fourchette n'est pas toujours effectuée de la même façon. Ainsi, certaines classifications précisent ne pas tenir compte de la préparation finale du consommateur (e.g., NOVA). De même, les étapes de transport et conservation au lieu de vente ne sont pas toujours prises en compte.

Il est également à noter que le prix, facteur pourtant déterminant dans la réalité des achats des consommateurs, n'est globalement pas pris en compte dans toutes les classifications citées alors qu'il pourrait avoir des répercussions non négligeables (e.g., choix de procédés, de matières premières).

D'un point de vue global, ces différents systèmes intègrent de multiples dimensions pour classer les aliments selon leur niveau de transformation. Elles peuvent être résumées sous les axes (**Figure 19**) :

- De l'ampleur des changements par rapport à l'état initial naturel de la matière agricole.
- De la nature de la transformation (propriétés intrinsèques ou ajout d'ingrédients).
- De la formulation (recette).
- Du lieu où a été réalisée la transformation.
- De l'objectif de la transformation.



**Figure 19.** Les différentes dimensions intégrées dans les systèmes de classification des aliments selon leur niveau de transformation (Souchon & Braesco, 2022).

#### 1.2.2.4 Autres critiques

En tant que classification la plus reprise, la classification NOVA a également été celle qui a reçu le plus de critiques. Mais certaines critiques s'appliquent pour d'autres systèmes de classification présentés en section 1.2.1.

En effet, certaines classifications paraissent empiriques par leur manque de précision comme évoqué en section 1.2.2.2. Par exemple, pour définir des notions telles que « non transformé », l'utilisation de termes tels que « naturel », « sain » ou « brut » ne permet pas de clarifier car il s'agit également de concepts flous. Une définition claire des méthodes permettant de distinguer les produits plus ou moins transformés (avec par exemple un algorithme ou un arbre de décision) serait souhaitable (Sadler et al., 2021).

Par ailleurs, les différents changements dans les définitions des classifications, comme par exemple la classification NOVA entre 2010 (C. A. Monteiro et al., 2010) et 2016 (C. A. Monteiro et al., 2016) ou encore Siga entre 2018 (Fardet, 2018) et 2022 montrent à la fois de l'adaptabilité afin d'améliorer les classifications existantes, mais pourraient également introduire de la confusion dans les interprétations (Poti et al., 2017).

La simplicité de classer un grand nombre d'aliments dans seulement quelques catégories (jusqu'à 2 pour FSANZ) est également vu comme réducteur, là où des

systèmes de codage des aliments tels que LanguaL (Ireland & Møller, 2010) utilisent de multiples descripteurs afin de discriminer les aliments (Gibney et al., 2017). De même, là où certains systèmes ne concernent que les aliments industriels, certains systèmes (e.g., NOVA) classent systématiquement les produits faits maison ou artisanaux d'un point de vue plus bénéfique (e.g., NOVA3 pour une mayonnaise faite maison, NOVA4 pour une mayonnaise industrielle), sans tenir compte des opérations effectivement réalisées. Également, le critère du nombre d'ingrédients faisant passer à un niveau de transformation supérieur est également critiqué puisque même si les produits ultra-transformés contiennent davantage d'ingrédients que les autres, un produit contenant de multiples ingrédients n'est pas nécessairement plus transformé (e.g., un mélange de plusieurs épices) (Botelho et al., 2018).

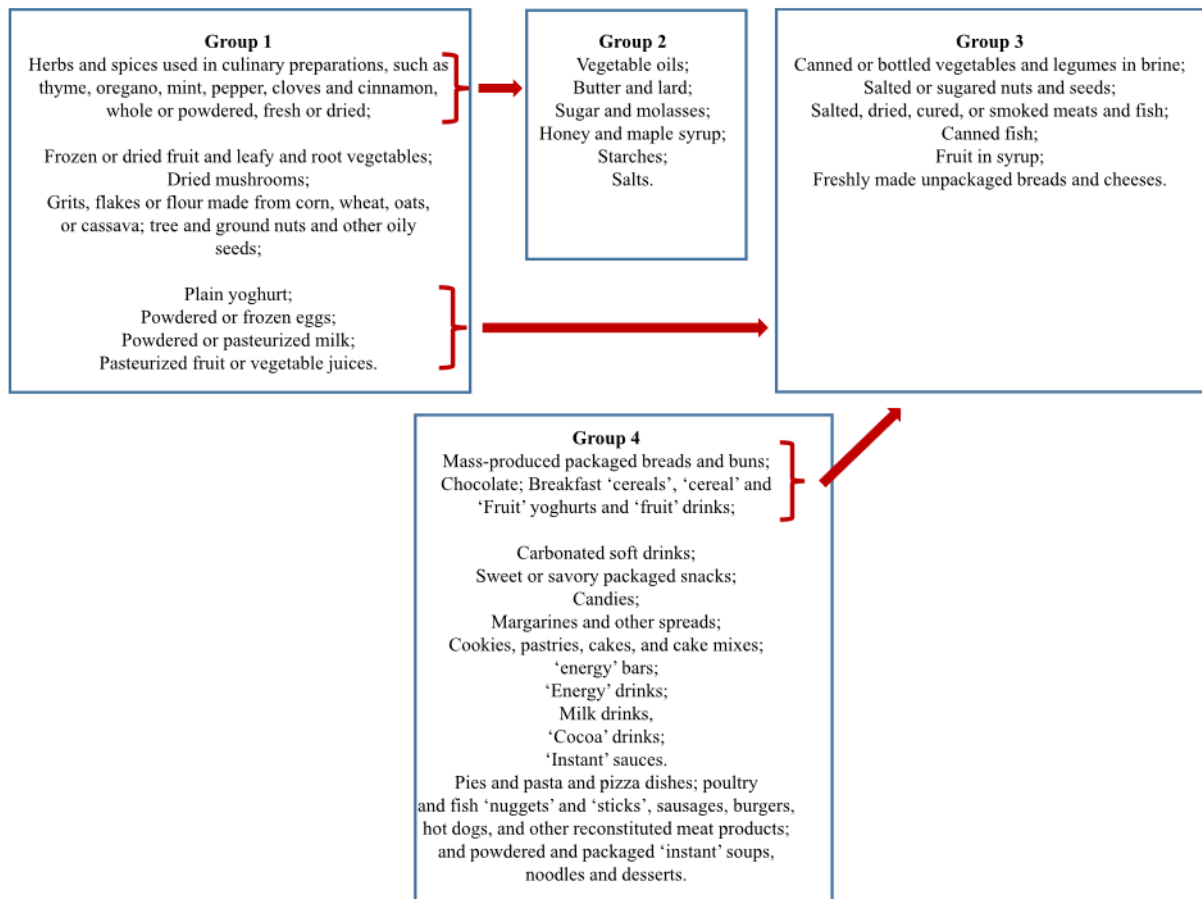
Les classifications comme NOVA axées sur le degré de transformation sont également critiquées sur le fait qu'elles occultent les critères classiques d'évaluation que sont les compositions nutritionnelles (Visioli et al., 2022). Par ailleurs, l'amalgame entre produits « ultra-transformés » et « mauvais pour la santé » ou « calories vides » est implicite dans certaines classifications, à l'image de Monteiro les qualifiant « d'intrinsèquement mauvais pour la santé » (C. A. Monteiro et al., 2019).

C'est pour cela que des classifications telles que Siga tentent de prendre en compte cet aspect nutritionnel notamment. Par ailleurs, se focaliser par le biais de telles classifications uniquement sur le degré de transformation des aliments est également critiqué. Malgré l'accumulation récente de preuves encourageant la limitation de la consommation d'aliments ultra-transformés, il est nécessaire de garder en tête les recommandations précédentes (validées scientifiquement) en lien avec la qualité nutritionnelle des produits et la gestion des portions (Sadler et al., 2021). De plus, le niveau de précision des données de collecte épidémiologiques ne fournit pas tout le temps les informations sur les transformations effectuées voire les composés présents dans ces aliments, ce qui induit de la prudence dans les conclusions tirées (Sadler et al., 2021).

Finalement, une critique également émise à l'encontre de certaines classifications est qu'elles mélangent dans leurs critères des dimensions liées à la transformation (e.g., certaines opérations unitaires ou modes de transformation) et également à la composition (e.g., ingrédients particuliers, additifs). Ainsi, les liens observés par les études épidémiologiques seraient donc un cocktail d'effets qu'il serait intéressant de dissocier. Il apparaît donc nécessaire de dissocier composition et transformation. En effet, pour Botelho et al., il y a une différence entre la communauté de la santé publique, à l'origine des classifications existantes selon le degré de transformation, et la communauté de la technologie alimentaire où le degré de

transformation est davantage lié au nombre et à l'intensité des opérations unitaires que le produit subit (Botelho et al., 2018).

Cela peut probablement expliquer pourquoi pour certains chercheurs de la communauté des sciences des transformations alimentaires, certains produits sont rangés dans la mauvaise catégorie. Les travaux de Petrus et al. en présentent certains exemples (Figure 20).



**Figure 20.** Exemples de produits catégorisés selon le système NOVA et les changements qui seraient opérés (flèches rouges) du point de vue des technologues alimentaires (Petrus et al., 2021).



Ainsi, il apparaît nécessaire de prendre en compte la transformation des aliments lorsqu'il s'agit d'évaluer un produit alimentaire. Différentes classifications selon le degré de transformation des aliments ont été proposées, mais présentent néanmoins certaines lacunes. Il a de plus été montré qu'au-delà de leurs spécificités, ces différentes classifications n'étaient pas nécessairement homogènes entre elles dans leur classement. Il n'est donc pas aisé de proposer un système de classification qui soit robuste, avec des règles précises et applicables à tous les aliments.

Par ailleurs, face à de telles classifications, il est nécessaire de voir comment ces informations peuvent être transmises aux consommateurs.

### 1.3 ÉTIQUETAGE ET INFORMATION DES CONSOMMATEURS

L'étiquetage des denrées alimentaires est largement encadré par la réglementation, afin d'informer et de protéger le consommateur. Cette section vise à faire le tour de la réglementation encadrant ce qu'il est possible et nécessaire de faire autour de l'étiquetage.

#### 1.3.1 L'étiquetage nutritionnel obligatoire

Comme précisé en section 1.1.4.1.3, le règlement UE n°1169/2011 dit INCO harmonise les informations devant figurer sur toutes les étiquettes de denrées alimentaires commercialisées dans l'Union Européenne. Il est précisé que « les règles s'appliquent à toutes les denrées alimentaires vendues au consommateur final. Cependant, de nombreuses prescriptions ne concernent que les produits préemballés. Les règles s'appliquent également à tous les opérateurs du secteur alimentaire (producteurs, distributeurs, détaillants, restaurateurs, commerces de bouche spécialisés ou généralistes, cantines...), à l'exception des ventes de charité, foires ou réunions locales et des soupes populaires ».

La déclaration nutritionnelle obligatoire oblige donc à faire figurer la valeur énergétique et les quantités de lipides, d'acides gras saturés, de glucides, de sucres, de protéines et de sel, ensemble dans le même champ de vision, dans un tableau lisible placé sur l'emballage (**Figure 21a**). Ces valeurs doivent être exprimées pour 100 g ou 100 mL de produit vendus, sauf certains cas particuliers (e.g., flocons de purée). Elles peuvent en outre être exprimées par portion et être accompagnées de repères nutritionnels journaliers (e.g., pour une canette de 33 cL de Coca-Cola®, 39% des repères nutritionnels journaliers en sucres pour un adulte-type) (**Figure 21a**). Sur une base volontaire, ces informations peuvent être complétées sur d'autres nutriments (acides gras mono-insaturés, polyinsaturés, polyols, amidon, fibres, vitamines et minéraux). Différentes prescriptions de dimensions minimales et de position sont également mises en place afin d'assurer la lisibilité de ces informations.





**Figure 21.** Exemple des informations présentes sur un pain de mie nature : (a) étiquetage nutritionnel, (b) liste des ingrédients.

Le règlement précise qu'il s'agit de valeurs moyennes, c'est-à-dire « qui représentent le mieux la quantité d'un nutriment contenu dans une denrée alimentaire donnée et qui tient compte des tolérances dues aux variations saisonnières, aux habitudes de consommation et aux autres facteurs pouvant influencer la valeur effective ». Ainsi, un guide des arrondis est donné par la commission européenne<sup>3</sup> ainsi que le tableau des tolérances pour les données nutritionnelles déclarées (**Tableau 6**).

<sup>3</sup> <https://www.favv-afscabeprofessionnelsdenreesalimentaires/circulaires/documents/2018-02-02Annexe01guideeuropentolerances.pdf>

**Tableau 6.** Tolérances pour les valeurs nutritionnelles étiquetées, incertitude de mesure comprise.

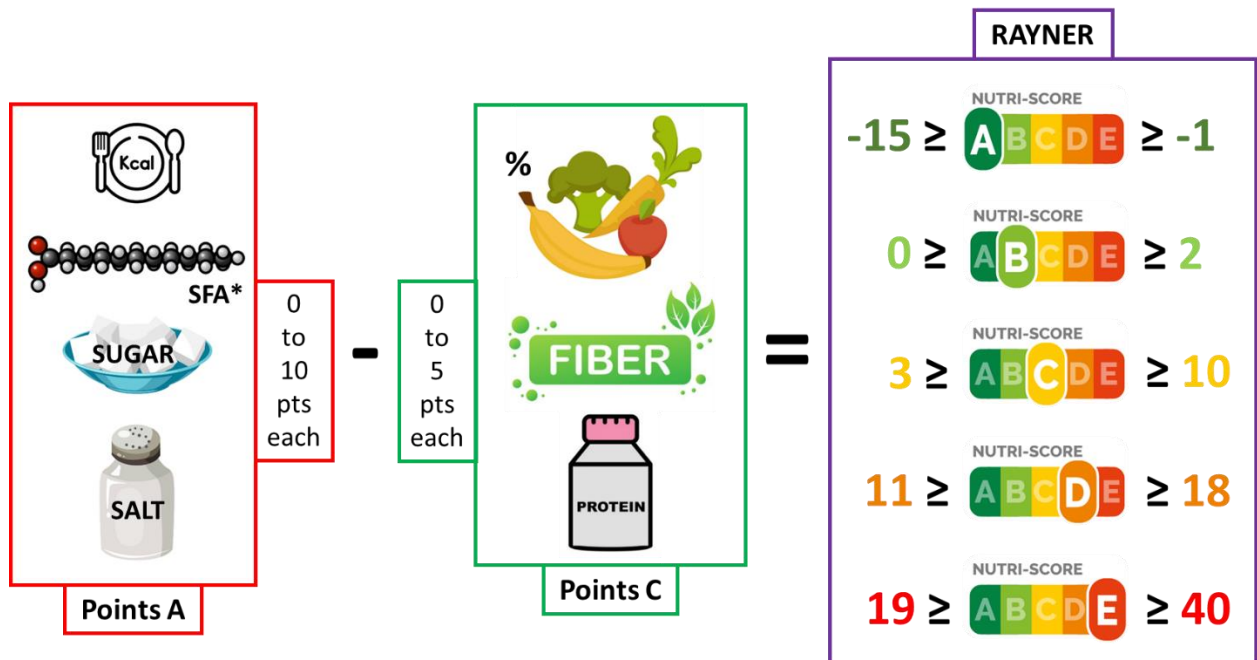
	<b>Tolérance pour les denrées alimentaires (incertitude de mesure comprise)</b>
<b>Vitamines</b>	+ 50 %**      - 35 %
<b>Minéraux</b>	+ 45 %      - 35 %
<b>Glucides</b> <b>Sucres</b> <b>Protéines</b> <b>Fibres</b>	< 10 g pour 100 g:    ± 2 g 10 à 40 g pour 100 g: ± 20 % > 40 g pour 100 g:    ± 8 g
<b>Matières grasses</b>	< 10 g pour 100 g:    ± 1,5 g 10 à 40 g pour 100 g: ± 20 % > 40 g pour 100 g:    ± 8 g
<b>Acides gras saturés</b> <b>Acides gras mono-insaturés</b> <b>Acides gras polyinsaturés</b>	< 4 g pour 100 g:    ± 0,8 g ≥ 4 g pour 100 g:    ± 20 %
<b>Sodium</b>	< 0,5 g pour 100 g:   ± 0,15 g ≥ 0,5 g pour 100 g:   ± 20 %
<b>Sel</b>	< 1,25 g pour 100 g:   ± 0,375 g ≥ 1,25 g pour 100 g:   ± 20 %

\*\* Pour la vitamine C présente dans les liquides, une tolérance plus large peut être acceptée.

Finalement, il est à préciser que ces règles sont en vigueur depuis le 13/12/2016, ce qui explique que certains jeux de données puissent encore contenir certains produits obsolètes où toutes ces informations obligatoires ne figurent pas nécessairement.

À titre volontaire, cette déclaration obligatoire peut être complétée en France par le Nutri-Score comme indiqué par l'arrêté du 31 Octobre 2017 fixant la forme de présentation complémentaire à la déclaration nutritionnelle recommandée par l'État. Il s'agit d'un indicateur de la qualité nutritionnelle des aliments sous forme d'un logo sur une échelle de 5 couleurs allant du vert à l'orange foncé, associées à des lettres allant de A à E (du plus favorable au plus défavorable sur le plan nutritionnel). Dans le cas général, le Nutri-Score fait la synthèse entre les points A, délétères (taux d'acides gras saturés, sucre et sel, densité énergétique) et les points C, bénéfiques (proportion de fruits et légumes dans la recette, taux de fibres et de protéines), dont la soustraction donne le score de Rayner (un score continu de -15 à 40) qui est ensuite redécoupé en 5 catégories pour le Nutri-Score (**Figure 22**). Certains cas particuliers impliquent des ajustements (e.g., boissons, fromages) ([Santé Publique France, 2020](#)). Il est également à noter qu'une proposition de révision de l'algorithme du Nutri-Score a été présentée fin 2022, notamment afin de réajuster les notes de certains produits particuliers (e.g.,

huiles, poissons gras à favoriser et pizzas ou céréales du petit-déjeuner sucrées à redescendre) (Scientific Committee of the Nutri-Score, 2022).



**Figure 22.** Méthodologie de calcul du Nutri-Score.

SFA = Acides gras saturés

Finalement, il est également à noter que des allégations (nutritionnelles et de santé) peuvent être utilisées sur certains produits. Cependant, ces dernières sont réglementées par le règlement CE n°1924/2006 afin d'éviter l'utilisation d'allégations inexactes, ambiguës ou trompeuses.

### 1.3.2 L'étiquetage obligatoire des ingrédients de la recette

De même, le règlement INCO impose l'étiquetage de la liste des ingrédients mis en œuvre par ordre d'importance pondérale décroissante (y compris les additifs et les arômes). Cependant, en dessous de 2%, l'ordre est libre. La quantité de certains ingrédients doit également être mentionnée, par exemple ceux mis en valeur sur l'étiquetage ou dans la dénomination de vente (e.g., gâteau aux fraises, pizza au jambon). La dénomination de vente qui définit le produit doit également être précisée (e.g., confiture extra de framboise).

Les substances allergènes présentes dans les produits préemballés doivent être mises en évidence dans la liste des ingrédients, par l'utilisation de caractères gras ou italiques par exemple. L'obligation de mentionner la présence d'allergènes s'applique également aux produits non-préemballés. Une mention volontaire des contaminations croisées — présence éventuelle et non intentionnelle de substances ou de produits

provoquant des allergies ou des intolérances (e.g., peut contenir des traces d'œufs) — est également possible.

Pour les denrées non préemballées, c'est-à-dire présentées sans emballage à la vente et emballées par le client ou à sa demande au moment de l'achat (e.g., fruits et légumes en vrac, baguette de pain, pâtisserie), une affichette doit être placée à proximité du produit proposé à la vente en mentionnant :

- la dénomination de vente
- la présence d'allergènes
- l'état physique du produit (e.g., décongelé)
- les lieux de naissance, d'élevage et d'abattage pour la viande bovine.

### 1.3.3 Les labels et mentions

En France et en Europe, des logos officiels existent afin de reconnaître les produits bénéficiant d'un signe officiel d'identification de la qualité et de l'origine (SIQO) (**Figure 23**). Ainsi, l'indication géographique protégée (IGP) « désigne un produit dont au moins une étape de fabrication (production, transformation et élaboration) est réalisée dans une zone géographique définie (e.g., riz de Camargue, jambon de Bayonne) ([Ministère de l'agriculture et de l'alimentation, 2009](#)). L'appellation d'origine protégée (AOP) « désigne un produit dont toutes les étapes de fabrication (la production, la transformation et l'élaboration) sont réalisées selon un savoir-faire reconnu dans une même zone géographique, qui donne ses caractéristiques au produit » (e.g., Chablis, poulet de Bresse, Comté, Roquefort). L'appellation d'origine contrôlée (AOC) « désigne des produits répondant aux critères de l'AOP. Elle constitue une étape vers l'AOP et permet une protection de la dénomination sur le territoire français, en attendant son enregistrement et sa protection au niveau européen » (e.g., piment d'Espelette, Champagne AOC, Chablis AOC).

L'agriculture biologique (AB) et le logo « Eurofeuille » (**Figure 23**) garantissent « un mode de production et de transformation respectueux de l'environnement et du bien-être animal. Les règles qui l'encadrent sont les mêmes dans toute l'Europe, et les produits importés sont soumis aux mêmes exigences » (e.g., fruits et légumes bio, viandes bio, lait bio). Le Label Rouge « est un signe français qui désigne des produits qui, par leurs conditions de production ou de fabrication, ont un niveau de qualité supérieur par rapport aux autres produits courants similaires ». Finalement, la spécialité traditionnelle garantie (STG) « désigne un produit qui résulte d'une recette ou d'un mode de production traditionnel » (e.g., jambon Serrano, moules de bouchot).



**Figure 23.** Logos de différents signes de la qualité (SIQO) : IGP, AOP, AOC, STG agriculture biologique, Label Rouge et le logo produit certifié.

Le certificat de conformité des produits est un autre critère de qualité officiel géré par le ministère de l'agriculture. Les caractéristiques spécifiques du produit reposent sur des critères objectifs, mesurables, contrôlables et significatifs pour les consommateurs, consignés dans un cahier des charges.

D'autres mentions valorisantes sont encadrées par les pouvoirs publics, comme par exemple la dénomination européenne « produit de montagne » (e.g., miel de montagne), d'après le règlement UE n°1151/2012. Le qualificatif « fermier » ou la mention « produit de la ferme » ou « produit à la ferme » ne disposent pas d'un décret général et se réfèrent à des décrets spécifiques, comme le règlement CE n°543/2008 pour la volaille.

D'autres logos existent, comme par exemple le logo Bleu-Blanc-Cœur qui fait référence à des produits issus d'animaux nourris aux graines de lin, naturellement riches en oméga-3. D'autres logos comme le logo Max Havelaar ou le label Bio Équitable font référence au commerce équitable. Le logo Point Vert signifie quant à lui que le producteur de l'emballage participe à la valorisation des emballages.

D'autres mentions en revanche sont libres, et apposées à des fins de marketing, comme par exemple « naturel » ou « sans conservateurs ». La réglementation dit simplement qu'elles « ne doivent pas être trompeuses pour le consommateur. Elles ne doivent notamment pas suggérer qu'une denrée posséderait des caractéristiques particulières alors que toutes les denrées similaires présenteraient ces mêmes caractéristiques, notamment en insistant particulièrement sur la présence ou l'absence de certains ingrédients et/ou nutriments ».



### 1.3.4 Les informations en lien avec la transformation

Comme vu en section 1.1.4.1.1, l'appellation « artisanale » est donc soumise à la détention de la qualité d'artisan, autrement dit d'être inscrit au répertoire des métiers ou au registre des entreprises en tant qu'artisan et d'en justifier l'appellation. De même, la section 1.1.4.1.2 a montré que l'appellation « fait maison » faisant exclusivement référence à une cuisine entièrement réalisée sur place à partir de produits crus transformés sur place. La DGCCRF dans son état des lieux de 2012 précise bien que le produit doit être préparé de manière non industrielle (DGCCRF, 2012).

Dans sa note d'information n°2009-136, la DGCCRF clarifie l'emploi du terme « naturel ». Ainsi, pour une denrée composée d'un seul ingrédient, « le terme « naturel » ou tout autre mot ou expression ayant substantiellement la même signification devrait généralement être réservé à des denrées alimentaires :

- a) provenant de la nature et présentées à la vente :
  - en l'état
  - après une transformation mécanique n'entraînant pas de modification profonde (ingrédients parés, tranchés, hachés, épluchés, moulus, broyés, décortiqués, séchés, pressés...)
- b) ayant éventuellement subi :
  - une stabilisation
    - i. par le froid (réfrigération, congélation, surgélation)
    - ii. par conditionnement sous atmosphère protectrice
    - iii. par la chaleur (pasteurisation, stérilisation)
  - une cuisson
  - une fermentation à l'aide de cultures de microorganismes lorsque ce procédé est inhérent à la fabrication d'un produit de consommation courante (exemple : la crème fraîche ou le yaourt)
  - un emprésurage
  - une torréfaction ou une infusion ».

Il est de plus précisé que « a contrario, l'utilisation des procédés tels que ceux qui suivent, qui pour la plupart modifient les caractéristiques essentielles du produit, devrait faire perdre aux denrées alimentaires le bénéfice de la valorisation de leur caractère naturel : synthèse chimique, inter-estérification, hydrogénation, ionisation, lyophilisation, génie génétique, électrodialyse, osmose inverse, ultrafiltration, extraction par solvant, ozonation ».

Il est également précisé que l'origine naturelle d'arômes et d'additifs alimentaires « obtenus par des procédés physiques, y compris l'extraction par solvant et la distillation, ou par des procédés traditionnels de fabrication des denrées alimentaires » peut être revendiquée.

Finalement pour les denrées composées de plusieurs ingrédients, il est recommandé que le terme « naturel » soit réservé à des assemblages d'ingrédients individuellement « naturels » (additifs et arômes inclus). Lorsque ces denrées sont soumises à un ou plusieurs traitements précédemment évoqués, il est recommandé de parler de « produit élaboré à partir d'ingrédients naturels / d'origine naturelle ».

Nous avons vu que le qualificatif « fermier » était légalement encadré, néanmoins les termes tels que « campagne », « paysan » pourraient être utilisés en contournant cela, tant qu'ils n'enfreignent pas le principe de non tromperie du consommateur.

Des mentions sur le lieu de transformation peuvent être données, telles que « transformé en France ». Il est possible de préciser les différentes étapes de production de l'origine des ingrédients à l'emballage final, comme par exemple : « produit en France à partir de bœuf hongrois conditionné en Roumanie ».

De même, certaines appellations caractéristiques telles que « champignons de Paris », « escargots de Bourgogne » ou « moutarde de Dijon » ne signifient pas nécessairement que la denrée a été produite dans la zone mentionnée. Il peut en effet s'agir de contraintes de variétés, de recettes ou de procédés employés. Par exemple, le décret n°2000-658 du 06/07/2000 décrit le cahier des charges pour la « moutarde de Dijon », notamment que l'appellation « est réservée à la moutarde obtenue par le broyage des seules graines de moutarde provenant soit de la variété *Brassica nigra*, soit de la variété *Brassica juncea*, tamisées ou blutées, et non déshuilées ». Néanmoins, il n'y a pas de contrainte géographique.

### 1.3.5 Les informations en lien avec les opérations de transformation et la formulation

Comme nous venons de le voir en section 1.3.3, il est possible d'utiliser le SIQO « spécialité traditionnelle garantie » pour faire référence à une recette ou un mode de production traditionnel. Pour certains produits comme le vin, le règlement CE n°479/2008 définit la « mention traditionnelle » employée pour indiquer soit que le produit bénéficie d'une AOP ou IGP, soit pour « désigner la méthode de production ou de vieillissement ou la qualité, la couleur, le type de lieu ou un évènement particulier lié à l'histoire du produit bénéficiant d'une AOP ou IGP ». Dans son état des lieux de 2012, la DGCCRF précise que les dénominations « traditionnel » et « à l'ancienne » font référence à des produits fabriqués selon des usages anciens répertoriés, sans additifs. En revanche, les mentions telles que « façon grand-mère » ou « secrets d'antan » jouant la carte du traditionnel et de l'authenticité ne semblent pas vraiment réglementées, au-delà du principe de ne pas tromper le consommateur. Plus subtile, certaines appellations telles que « cuit au chaudron » font également référence à ces domaines.



Le terme « pur » (e.g., 100% pur jus) s'applique aux produits ne comportant qu'un unique ingrédient, mais n'est pas lié à la pureté ou la qualité de celui-ci. Le qualificatif « frais » peut également être employé, selon la note adoptée par le conseil national de la consommation le 08/02/1990.

De même, les allégations du type « sans colorant, ni conservateur » doivent effectivement être respectées, mais ne sont pas équivalentes à un « sans additif ».

Comme vu en section 1.1.1, la mention des auxiliaires technologiques n'est pas obligatoire, et de fait est extrêmement rare afin d'éviter d'apeurer les consommateurs.

Par ailleurs, certaines opérations peuvent être mises en avant, comme par exemple « cuit au feu de bois » (e.g., une pizza).

D'après le règlement CE n°1829/2003, lorsqu'une denrée alimentaire diffère du produit conventionnel de référence en ce qui concerne la composition, les propriétés nutritionnelles, l'usage auquel le produit est destiné ou encore les implications pour la santé de certaines catégories de population, l'étiquetage est complété afin d'indiquer ces caractéristiques ou qualités (par exemple, modification du profil en acides gras ou enrichissement vitaminique d'une espèce végétale). Même chose lorsque le produit peut susciter des préoccupations d'ordre éthique ou religieux (e.g., introduction d'un gène de porc dans une espèce végétale).

En somme, les lois françaises et européennes encadrent l'étiquetage des denrées alimentaires et l'information transmise aux consommateurs afin de protéger ces derniers. Néanmoins, certaines zones d'ombre ont été mises en évidence et expliquent notamment l'existence de nombreuses appellations « marketing » (e.g., « au chaudron », « recette de grand-mère »). Face à la diversité des étiquetages et des informations véhiculées par les emballages, il est donc nécessaire de se pencher sur la manière dont ceci est perçu par les consommateurs.

## **1.4 PERCEPTIONS DES CONSOMMATEURS**

Cette section de l'état de l'art vise à présenter les attentes, les perceptions et les préférences des consommateurs vis-à-vis des produits transformés et les méthodes utilisées dans la littérature pour les évaluer.

### **1.4.1 Les différentes perceptions des consommateurs**

Les perceptions par les consommateurs des produits transformés font l'objet d'un grand nombre d'études. Différentes approches et méthodes peuvent être utilisées pour comprendre et étudier leurs perceptions, appréciation et comportement.

#### 1.4.1.1 *Perceptions des modes de transformation*

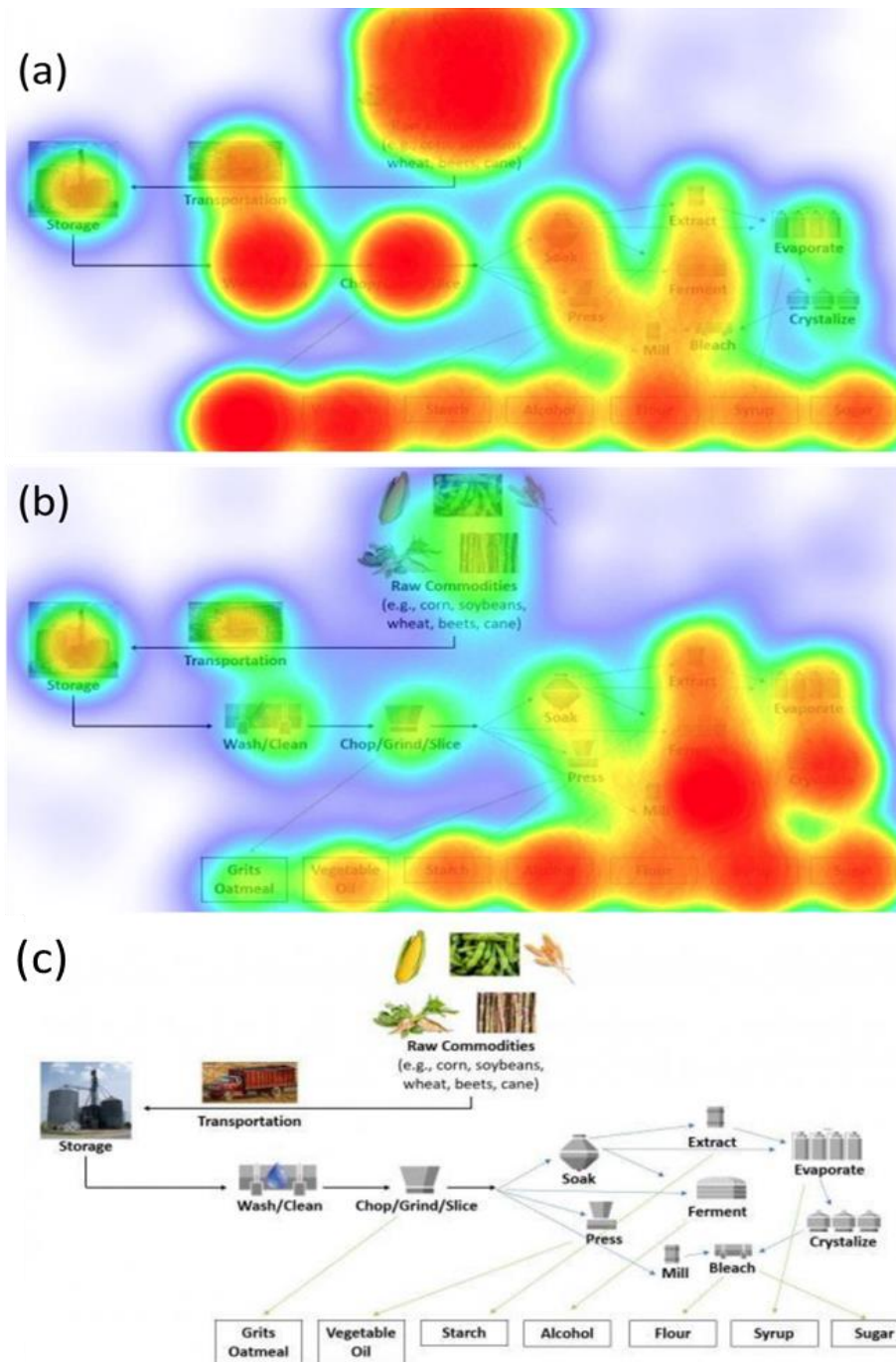
En Asie-Océanie, il a été montré que les lieux d'origine et de transformation des aliments, ainsi que la localisation du siège social de l'entreprise pouvaient avoir une influence sur les préférences des consommateurs, avec une hiérarchie entre les différents pays (Aizaki & Sato, 2020).

Les travaux d'Abouab et Gomez ont également montré, à travers un panel de 133 Français, que les produits faits main étaient jugés plus naturels que ceux faits à l'aide d'une machine (Abouab & Gomez, 2015).

Il est également à noter que le lieu où la nourriture est servie joue un rôle dans le ressenti du consommateur, avec des attentes qui diffèrent en termes de qualité, prix et types de produits (Galiñanes Plaza et al., 2019).

#### 1.4.1.2 *Perceptions de la transformation*

La revue de Battacchi et al. reprend les études ayant recensé les perceptions des consommateurs concernant certaines transformations selon leurs fonctions (Battacchi et al., 2020). En particulier, il a été montré sur un panel de 200 Américains que la transformation influençait davantage la perception de naturalité que le contenu de l'aliment (Rozin, 2005). Dans cette étude, les auteurs ont montré que les opérations chimiques détérioraient fortement les perceptions de naturalité du produit, en comparaison avec les opérations physiques qui auraient un effet moindre. De même en 2010 sur un échantillon de 190 Australiens, il a été confirmé que les changements chimiques étaient perçus comme ayant plus d'impact que ceux physiques (Evans et al., 2010). Dans les travaux de Lusk, plus de mille Américains ont sélectionné les zones (i.e., produits ou transformations) les plus (**Figure 24a**) et les moins (**Figure 24b**) naturelles (Lusk, 2019b).



**Figure 24.** Heatmaps présentant les procédés considérés comme (a) les plus et (b) les moins naturels pour 1 290 Américains à partir (c) d'un diagramme générique de transformation (Lusk, 2019b).

Gradient d'intensité du vert au rouge. Ex : les zones les plus rouges en (b) sont les étapes considérées comme les moins naturelles.

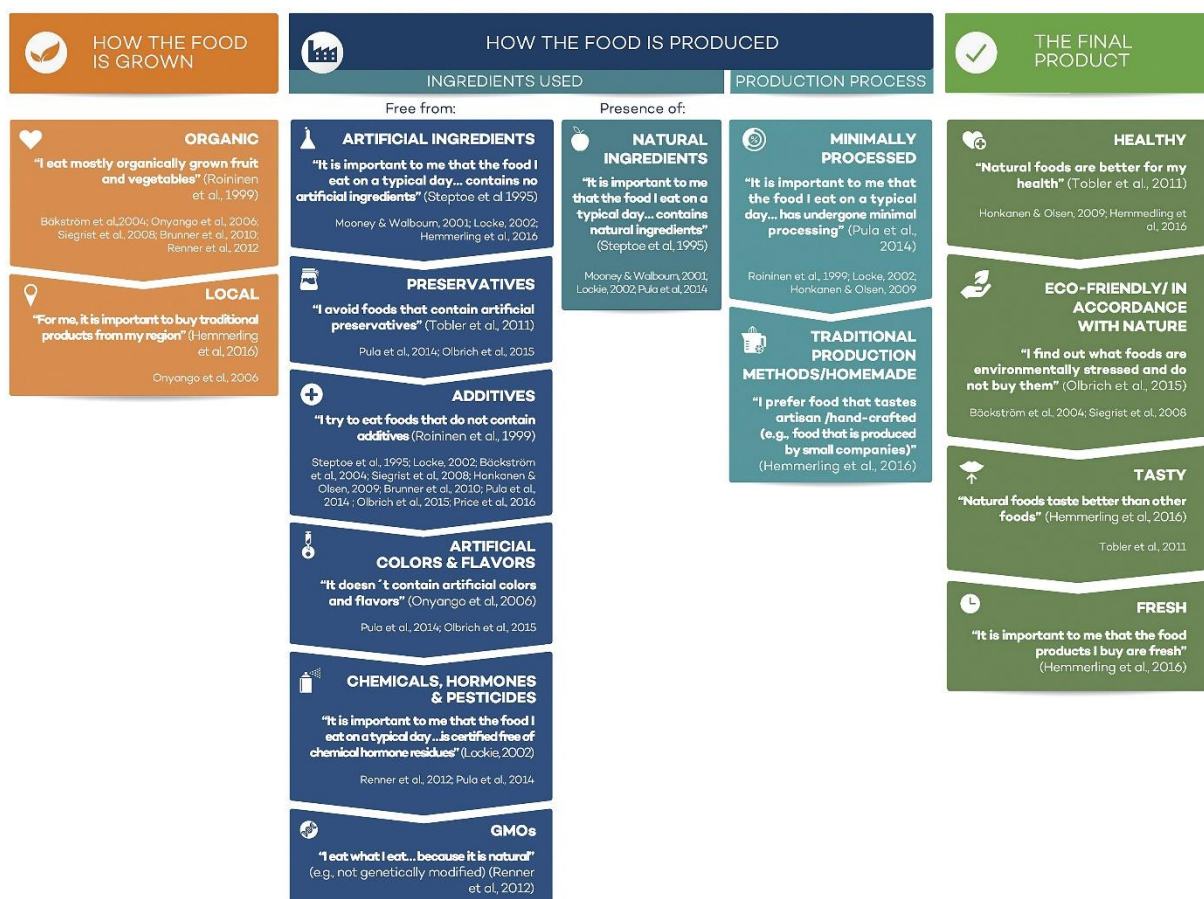
### 1.4.1.3 Perceptions de la naturalité

La naturalité est très souvent mise en opposition directe avec la transformation (Evans et al., 2010; Rozin et al., 2004). Les travaux de Rozin et al. ont notamment permis de mieux comprendre la vision positive des consommateurs envers la naturalité. Il est

à noter que les femmes, les consommateurs les plus âgés et ceux avec les plus hauts revenus sont en particulier les groupes accordant le plus d'importance à la naturalité des aliments qu'ils consomment (Dantec et al., 2022).

Cependant, cette notion reste relativement floue et délicate à définir (Chambers V et al., 2019). La revue de Román et al. de 2017 permet d'apporter plusieurs éléments de réponse, en mettant en lumière les grandes dimensions associées à la naturalité à partir d'une analyse de 72 études dans 32 pays différents, impliquant plus de 80 000 consommateurs (Román et al., 2017). Trois principales catégories ressortent (**Figure 25**) :

- L'origine des ingrédients
  - Bio
  - Locale
- La transformation des aliments
  - Les ingrédients utilisés
    - Sans ingrédients artificiels / avec des ingrédients naturels
    - Sans conservateurs
    - Sans additifs
    - Sans couleurs et arômes artificiels
    - Sans produits chimiques, hormones et pesticides
    - Sans OGM
  - Les procédés de production
    - La faible transformation des aliments
    - Des méthodes traditionnelles de production / le fait maison
- Les caractéristiques du produit final
  - S'il est bon pour la santé
  - S'il respecte l'environnement
  - Son goût
  - Sa fraîcheur



**Figure 25.** Principales dimensions associées à la naturalité des aliments pour les consommateurs (Román et al., 2017).

Ces grands axes ont même été repris afin de construire un indice de naturalité (Food Naturalness Index), développé par la même équipe de recherche, bâti sur une échelle de naturalité en cinq points correspondant à différents attributs (i.e., pratiques agricoles, nombre d'additifs, nombre d'ingrédients superflus, nombre d'ingrédients transformés) (Sanchez-Siles et al., 2019).

De même, la revue plus récente de Battacchi et al. reprend ces concepts en analysant la norme ISO/TS 19657:2017 donnant les « définitions et critères techniques permettant de considérer un ingrédient alimentaire comme naturel » (Battacchi et al., 2020). Les auteurs concluent que cette définition est valide, mais néanmoins incomplète, notamment du point de vue de la modification génétique, des pratiques agricoles ou encore de la présence de nanomatériaux (Battacchi et al., 2020).

Par ailleurs, les travaux récents de Dantec et al. ont montré que les couleurs verte, blanche et jaune étaient associées à la naturalité des produits. Pour les odeurs, la fraîcheur et la légèreté étaient associées à la naturalité. Par ailleurs, le pays d'origine des participants et la catégorie de produit considéré avaient également une influence sur ces résultats (Dantec et al., 2022).

#### 1.4.1.4 *Perceptions en lien avec la santé*

Une revue systématique de la littérature de 2021 a identifié 60 études qualitatives autour du thème des perceptions de santé des aliments (Pinto et al., 2021). Cinq principales dimensions sont ressorties :

- L'aspect cognitif, les connaissances / conceptions erronées
- Le plaisir
- L'importance pour la santé
- La pureté
- Les considérations éthiques et environnementales

Il est également ressorti que cet aspect santé pouvait avoir une influence bénéfique sur les attentes du consommateur et donc sur les choix de produits (Pinto et al., 2021). En outre, Lusk met également en avant que l'aspect santé est une construction faisant appel à des notions telles que l'origine animale, une production respectueuse de l'environnement, la cuisine à la maison, les aspects nutritionnels, le degré de transformation, la préservation et la fraîcheur (Lusk, 2019a).

Il a également soulevé que cet aspect santé pouvait être perçu à l'échelle de la diète (pour 52,1% des sondés) ou à l'échelle de l'aliment (pour 47,9% des sondés) (Lusk, 2019a).

#### 1.4.1.5 *Les motivations derrière ces perceptions*

En somme, il apparaît que les différentes perceptions précédemment évoquées sont intimement liées. Et en ce sens, il est nécessaire lorsque l'on souhaite étudier l'une d'entre elles de prendre en compte les autres puisqu'elles sont interconnectées.

La notion de « fait maison » est connotée très positivement pour le consommateur, car elle fait référence à l'authenticité, le plaisir, l'amour, la famille (Petridou, 2001; Moisisio et al., 2004; Santiago-Cruz et al., 2021). De plus, les produits faits maison apparaissent très souvent comme préférés sur le plan gustatif, même lors de dégustations à l'aveugle (i.e., sans information). Ils sont de plus jugés plus naturels, avec un procédé de production « humanisé » (Abouab & Gomez, 2015). Ainsi la référence au fait maison crée un halo bénéfique qui amène le consommateur à voir un produit fait maison comme vertueux, et développer une intention d'achat plus forte (Devia et al., 2021).

De plus, la notion d'« ultra-transformé », issue des classifications présentées en section 1.2.1 est de plus en plus propagée par les médias et repris par des applications montantes telles que Yuka ou OpenFoodFacts. Cela contribue à installer de la méfiance vis-à-vis de la transformation et des produits industriels, qui sont à l'inverse plutôt



associés à l'inquiétude, l'ennui, la culpabilité, voire au dégoût (Santiago-Cruz et al., 2021). Les pouvoirs publics recommandent de plus en plus à travers leurs communications d'éviter les produits ultra-transformés, à l'image du PNNS4 en France (visant à limiter la consommation de ces produits, et d'en réduire de 20% la consommation entre 2018 et 2021).

Le concept de contagion, repris par de nombreux auteurs (Rozin, 2005; Evans et al., 2010; Abouab & Gomez, 2015), considère que deux entités entrant en contact échangent leurs caractéristiques de manière permanente (e.g., un produit à base de 99% d'une plante jugée naturelle, et 1% d'un additif jugé très chimique deviendra chimique). Ce phénomène n'est pas sensible à la durée de contact ou à la dose (e.g., 2% ou 4% d'additifs). Si l'on va jusqu'à combiner ce concept au célèbre adage « vous êtes ce que vous mangez » (Shapin, 2014), on peut comprendre la réticence des consommateurs.

Pour Machin et al., les perceptions de l'aspect santé des produits ultra-transformés semblent largement régis par l'heuristique (i.e., approche visant à résoudre un problème de manière empirique, à partir de connaissances incomplètes) (Machin et al., 2020). Même si les participants considèrent l'absence de transformation comme un indice de santé, ils ne classaient néanmoins pas tous les produits ultra-transformés comme mauvais pour la santé. Ainsi, les participants se référaient à des indices tels que l'étiquetage, les allégations nutritionnelles, la marque, le prix et le pays d'origine afin de juger si le produit était bon ou mauvais pour leur santé (Machin et al., 2020).

Il est donc intéressant de s'attarder sur l'impact qu'ont de tels indices sur les perceptions des consommateurs.

#### 1.4.2 Impact de l'information sur les perceptions des consommateurs

Un autre point capital dans la compréhension des perceptions des consommateurs est l'impact que peut avoir l'information sur ces dernières. Comme nous l'avons vu dans la section 1.3 portant sur l'étiquetage, cette information peut passer par différents supports visuels et textuels (e.g., une allégation santé, un label).

Une étude sur cinq pays européens de 2016 a montré que sur plus de 2 000 produits évalués (i.e., aliments emballés et boissons), 26% d'entre eux contenaient au moins une allégation (dont 6% sous forme de logo). Ces allégations étaient majoritairement nutritionnelles (64%), de santé (29%) ou en lien avec des propriétés santé d'un ingrédient (6%) (Hieke et al., 2016). Il a de plus été montré que plus un produit était transformé, plus la probabilité était grande qu'il contienne une allégation de ce type (Christoforou et al., 2018).

Une étude antérieure de 2007 avait déjà montré que ces allégations nutritionnelles et de santé avaient un effet positif sur les perceptions de l'effet santé bénéfique du produit, et sur l'attraction éprouvée envers le produit (van Trijp & van der Lans, 2007). Cette étude suggère de plus que l'intitulé de l'allégation n'a que peu d'importance, car les subtiles différences de formulation ne sont pas forcément comprises.

Bien que généralement positifs et grandement utilisés à des fins marketing, les étiquetages peuvent également comporter des avertissements nutritionnels (e.g., forte teneur en sodium). Une étude en ligne de 2020 a testé quatre catégories de produits (pain de mie, crackers, jus de raisin et yaourt à la fraise) avec trois allégations différentes (Nobrega et al., 2020). Les deux premières, positives, portaient sur les nutriments (e.g., source de fibres, riche en zinc) ou sur les ingrédients (e.g., avec des morceaux de fruits, aux 7 grains complets), respectivement. La dernière était également nutritionnelle, mais négative (e.g., riche en sodium, riche en sucre). Il a été montré globalement qu'il n'y avait pas d'interaction entre les informations, c'est-à-dire pas d'influence de l'une sur les autres. Comme attendu, les deux allégations positives ont eu pour effet de considérer les aliments comme plus sains, alors que les avertissements nutritionnels de la dernière ont eu l'effet opposé. Néanmoins, ce sont les avertissements qui ont eu la plus forte importance aux yeux des consommateurs (Nobrega et al., 2020).

Un autre point intéressant est l'information concernant les additifs, où leurs noms E (e.g., E300) ou chimique (e.g., acide ascorbique) sont perçus comme moins naturels et plus chimiques que leurs noms communs (e.g., vitamine C) (Chambers V et al., 2019; Evans et al., 2010). En particulier, le « clean label » est très en vogue, avec une forte demande de la part des consommateurs (Chen et al., 2022). Il n'y a pas de réelle définition, mais cela regroupe des notions incluant le bio, la naturalité, l'absence d'additifs (en particulier dits « artificiels ») et les ingrédients (e.g., familiers, en faible nombre) (Asioli et al., 2017; Maruyama et al., 2021). De plus, l'effet bénéfique de tels produits est largement remis en cause, à la fois pour les consommateurs et pour les industriels (Chen et al., 2022).

Un cas particulier réside dans les considérations religieuses (e.g., kasher, halal) ou les régimes alimentaires spécifiques (e.g., vegan, sans gluten) où l'information en lien avec les ingrédients et/ou les procédés sera capitale dans le choix de certains produits pour le consommateur. La montée de l'ethnomarketing illustre en soi également l'importance de telles informations (Voicu et al., 2012).

Une étude en ligne sur 790 Uruguayens a mis en évidence l'influence du label fait maison, d'images de produits naturels (e.g., d'œufs et de lait pour un flan) et d'un avertissement nutritionnel (e.g., « teneur excessive en sucre », apposé du logo du

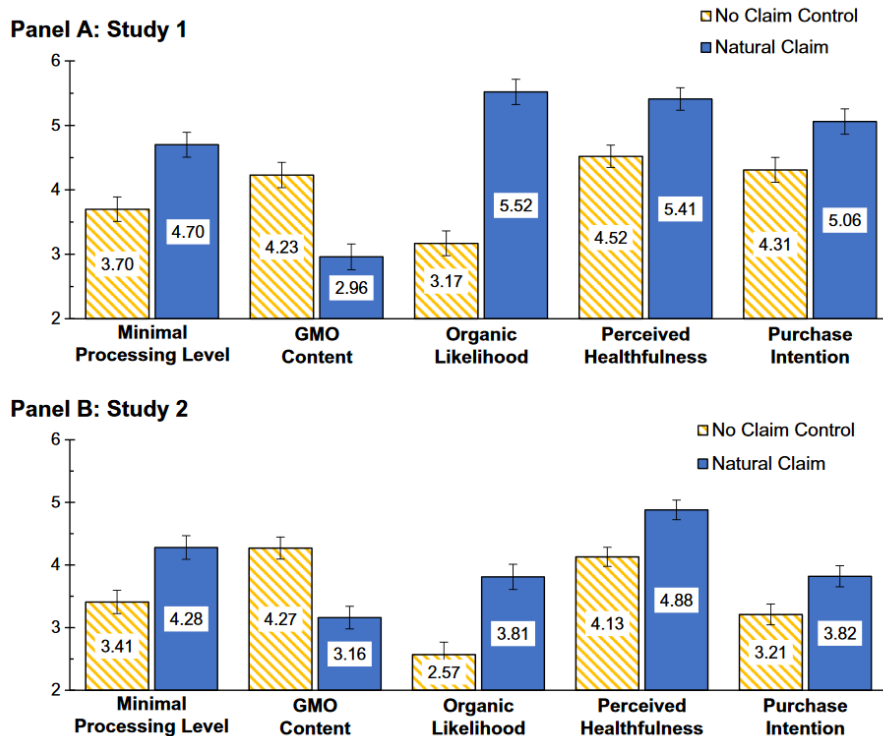


ministère de la santé publique uruguayen) sur les perceptions de santé et les intentions d'achat (Devia et al., 2021). Les produits considérés étaient des produits fictifs de burgers, cookies, soupes instantanées et flans à la vanille. Les résultats montrent que le label fait maison et les images de produits naturels ont augmenté les intentions d'achat, et ont également amélioré la perception que les produits étaient sains. En revanche, les avertissements nutritionnels ont eu l'effet opposé, à savoir de réduire la perception des produits comme sains, et de réduire l'intention d'achat. Finalement, en présence d'image de produits naturels et d'avertissement nutritionnel, les images de produits naturels ont eu un effet halo bénéfique autour de la perception d'un produit sain qui a réduit l'effet de l'avertissement nutritionnel décourageant le consommateur d'acheter.

En effet, l'aspect naturel des ingrédients tels que les fruits, les légumes et les graines est largement apprécié par le consommateur. Comme l'intitule l'article de Sütterlin et Siegrist, le simple ajout du mot « fruit » rend le sucre plus sain (Sütterlin & Siegrist, 2015). Ainsi, parler de « sucre issu du fruit » est nettement mieux vu que « fructose », car il fait référence à cette naturalité.

Toujours sur la naturalité, l'étude de Berry et al. (**Figure 26**) a montré qu'une allégation de naturalité augmentait significativement la perception d'un niveau minimal de transformation, du probable caractère bio, de l'aspect bénéfique pour la santé, ainsi que l'intention d'achat et diminuait la probable teneur en OGM (Berry et al., 2017). L'étude plus récente de Schirmacher et al. tend également à montrer les mêmes tendances, avec l'appellation « naturel » sur l'emballage qui fait penser à un produit bio, localement produit, peu transformé, frais, sans ingrédients artificiels, hormones ou OGM (Schirmacher et al., 2022).

Finalement, il a été montré que pour du jus de raisin, l'information « fait à la main » augmentait significativement la naturalité perçue par rapport à celle donnée pour le produit sans information. En revanche, pour l'information « fait à la machine », il n'y a pas eu de différence significative (Abouab & Gomez, 2015).



Notes: All mean differences are significant ( $p < .05$  or higher). Higher means for the attribute-related inferences indicate greater inferences that the food product is minimally processed, contains GMOs, and is organic. Higher means for consumers' evaluations indicate more favorable purchase intention and health evaluation. The product categories used in Studies 1 and 2 were peanut butter and cereal, respectively.

**Figure 26.** Effet d'une allégation de naturalité sur différentes perceptions associées et l'intention d'achat (Berry et al., 2017).

Il a été montré que l'information sur le caractère fait maison ou prêt à l'emploi (industriel) d'un cake jambon-olives avait une influence sur le ressenti des consommateurs par rapport à leurs attentes. Ainsi, le cake fait maison était conforme aux attentes des consommateurs, voire au-dessus avec l'information, tandis que pour le cake industriel cette valeur baissait, jusqu'à ne pas atteindre les attentes des consommateurs envers le produit (Galiñanes Plaza et al., 2019). En revanche, l'information n'a pas significativement influencé l'appréciation des cakes.

Les perceptions des consommateurs sont multiples et sont à intégrer dans la démarche de comparaison des différents modes de production des aliments. En effet, la transformation perçue et les concepts tels que la naturalité semblent essentiels dans l'appréhension du ressenti des consommateurs. De plus, l'information fournie aux consommateurs et la manière dont elle est transmise a également un impact sur ces perceptions.

## 1.5 QUESTIONS ET STRATÉGIE DE RECHERCHE

Ainsi, suite à cet état de l'art de la littérature scientifique actuelle, des manques de connaissances ont pu être identifiés. En particulier, les études comparant différents modes de transformation sont relativement rares, et restreintes à quelques produits comparés sur deux modes de transformation (e.g., industriel et artisanal). Par ailleurs, la classification des aliments selon leur degré de transformation est de plus en plus popularisée, mais les différents classements existants sont critiqués, notamment pour leur manque de robustesse et le fait qu'ils agrègent la formulation (recette) et la transformation (au sens des opérations unitaires) des produits. Finalement, les perceptions des consommateurs autour des thématiques associées (e.g., transformation, naturalité, produits sains) ont été évaluées, mais restent à explorer.

L'objectif global de la thèse a donc été formulé, avec des questions de recherche plus précises afin d'y répondre que nous détaillerons ci-dessous. Nous préciserons ensuite la stratégie de recherche mise en œuvre afin d'y répondre.

### 1.5.1 Questions de recherche

L'objectif de cette thèse étant d'étudier les impacts de la transformation alimentaire (industrielle, artisanale, ou à domicile) sur les qualités des produits et les perceptions des consommateurs, quatre questions de recherche ont été formulées afin de répondre au mieux à cette problématique :

- Q1 : Quelles sont les caractéristiques liées à l'aliment produit selon différents modes de transformation ?
- Q2 : Comment caractériser de façon précise le niveau de transformation des aliments (indépendamment de la formulation) ?
- Q3 : Quelles sont les perceptions de ces différents modes de transformation par les consommateurs ?
- Q4 : En quoi ces perceptions diffèrent-elles en fonction des catégories d'aliments et leur niveau de complexité ?

### 1.5.2 Stratégie de recherche

Afin de répondre aux objectifs de la thèse et de traiter les quatre questions de recherche formulées, la stratégie expérimentale présentée en **Figure 27** a été suivie.

Le Process-Score, développé afin de caractériser la transformation des aliments, sera développé dans la section 2.1.

Une cartographie de pizzas et pains de mie industriels (reprenant notamment le Process-Score) sera ensuite présentée en section 2.2.

Dix pains de mie industriels issus de cette cartographie ont été sélectionnés, avec un ajout de six pains artisanaux et huit faits maison. Des données technologiques (formulation et transformation), nutritionnelles et physicochimiques (e.g., densité, module de Young, concentrations en molécules volatiles) ont été calculées sur ces 24 pains afin d'étudier l'impact du mode de transformation sur les propriétés du pain de mie en section 2.3.

Parmi ces pains, six seront sélectionnés (2 industriels, 2 artisanaux et 2 faits maison) dans la section 3.1 afin d'être dégustés par 65 participants et d'analyser leurs préférences et perceptions de ces produits. Ils le seront dans un premier temps à l'aveugle, puis ils auront une fiche d'information contenant des données nutritionnelles (i.e., étiquetage et Nutri-Score), la recette, ainsi que le diagramme de fabrication afin d'étudier l'influence de l'information sur leurs préférences et perceptions.

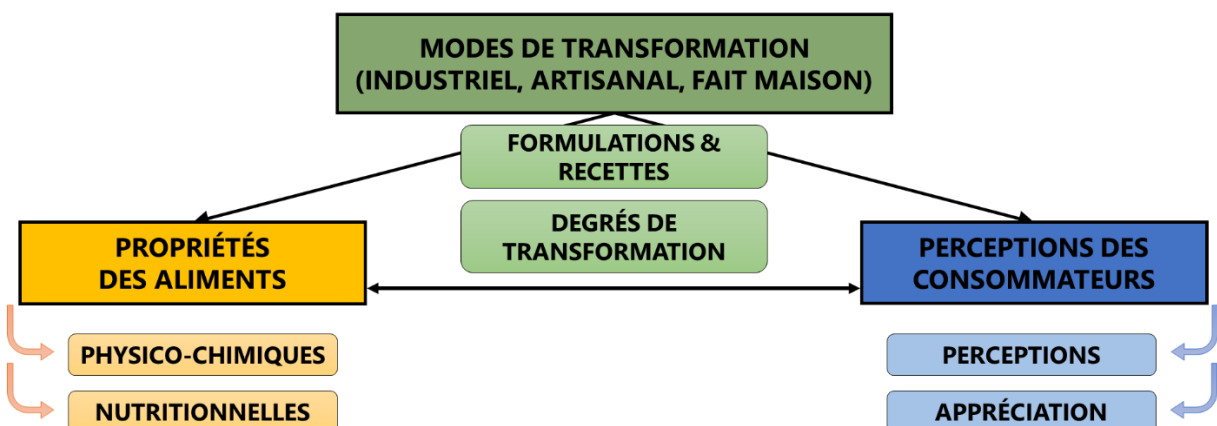
La section 3.2 étudiera l'impact du mode de transformation sur les attentes de 1 000 consommateurs, en particulier en reprenant l'exemple de la pizza.

Plus concrètement, la section 3.3 comparera 2 pizzas industrielles, 2 pizzas assemblées à partir de produits industriels et 2 pizzas faites maison afin d'étudier l'influence du mode de préparation des pizzas sur les préférences et perceptions de 69 consommateurs.

Finalement, une discussion générale sera proposée en chapitre 4 afin de croiser les résultats obtenus pour les deux modèles de produits.

Pour guider le lecteur à travers la lecture de ce manuscrit, la **Figure 27** sera proposée comme fil rouge, et déclinée selon les objectifs de chaque chapitre.

### COMPRENDRE LES LIENS ENTRE PROPRIÉTÉS, PERCEPTIONS ET MODES DE TRANSFORMATION ?



**Figure 27.** Démarche pour répondre aux questions de recherche.

Ce premier chapitre a permis de faire un état des lieux des connaissances scientifiques et de définir certains concepts clés en lien avec le sujet de thèse.

En particulier, les transformations alimentaires ont été définies, en illustrant certains des services rendus par ces dernières ainsi que les risques associés. Ce que nous considérons comme modes de transformation dans ce manuscrit a également été défini, en mettant en lumière l'influence de ces derniers sur les qualités des produits.

Pour rendre compte de l'impact de ces transformations, des classifications selon le degré de transformation des aliments ont émergé. Nous avons présenté certaines d'entre elles, tout en mettant en lumière le manque de robustesse et la complexité d'application de telles classifications à des cas concrets.

Un point sur l'étiquetage a ensuite été présenté, puisqu'il s'agit d'un élément clé pour intégrer ces informations et les transmettre aux consommateurs.

Finalement, nous avons mis la lumière sur les perceptions des consommateurs puisque ces dernières sont le reflet de ce qu'intègre le consommateur, notamment via l'étiquetage.

Ainsi, nous avons pu introduire dans cette première partie les enjeux et questions de recherche auxquelles nous souhaitons répondre dans ce travail de thèse. La démarche qui a été suivie pour répondre à ces questions de recherche s'organise dans une succession de chapitres : dans le chapitre 2, nous nous focaliserons sur la caractérisation et la comparaison des modes de transformation (Figure 27a).

### COMPRENDRE LES LIENS ENTRE PROPRIÉTÉS, PERCEPTIONS ET MODES DE TRANSFORMATION ?

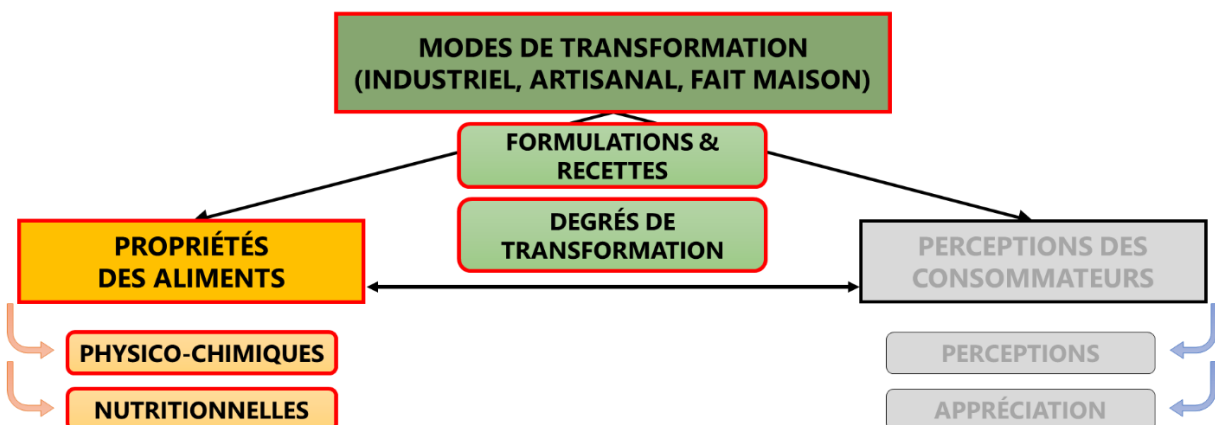


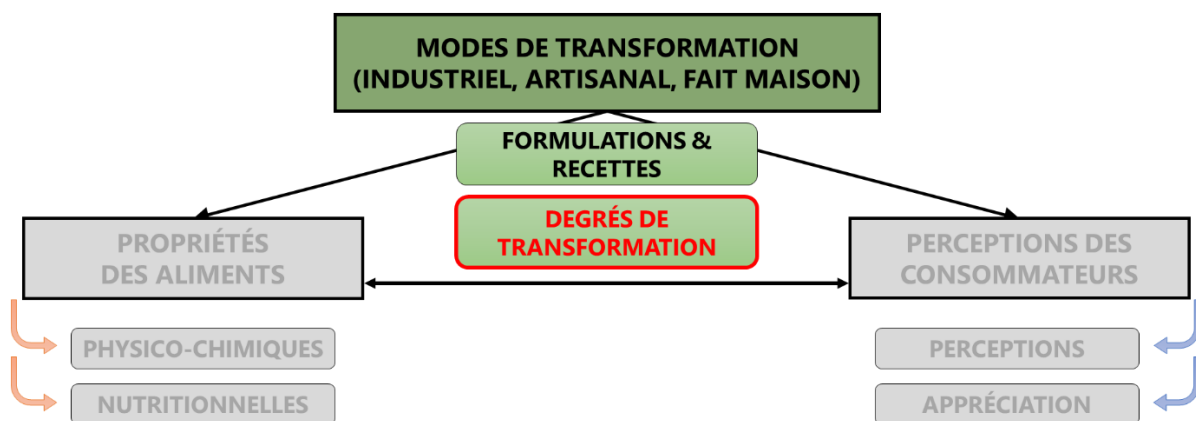
Figure 27a. Démarche abordée dans le chapitre 2 pour répondre aux questions de recherche.

## 2 CHAPITRE 2. CARACTÉRISATION ET COMPARAISON DES MODES DE TRANSFORMATION

Ce premier chapitre de résultats présente les démarches de caractérisation et de comparaison des modes de transformation. Afin de caractériser le degré de transformation des aliments, le Process-Score a été développé. Cet indicateur a pour but de rendre compte de la distance entre les matières premières et le produit fini. La méthodologie de calcul de cet indicateur sera détaillée dans la section 2.1. Dans la section 2.2, le Process-Score sera notamment mis en relation avec d'autres indicateurs (e.g., valeurs nutritionnelles, formulation, prix) afin de proposer une cartographie des pains de mie et des pizzas industriels français selon ces multiples critères. En effet, s'agissant de produits catégorisés comme ultra-transformés, l'objectif sera de comprendre la diversité existante au sein d'une même catégorie de produits pour voir s'il est possible de les différencier. Finalement, l'impact du mode de transformation (industriel, artisanal, et fait maison) sur les propriétés du pain de mie (modèle plus simple et *a priori* avec le moins de variabilité en comparaison avec la pizza) sera étudié dans la section 2.3.

Nous commencerons donc par la présentation du Process-Score afin de répondre aux enjeux présentés en **Figure 27b**.

### COMPRENDRE LES LIENS ENTRE PROPRIÉTÉS, PERCEPTIONS ET MODES DE TRANSFORMATION ?



**Figure 27b.** Démarche abordée dans la section 2.1 pour répondre aux questions de recherche.

## 2.1 CARACTÉRISATION DU DEGRÉ DE TRANSFORMATION ALIMENTAIRE : LE PROCESS-SCORE

Le Process-Score fait suite à une réflexion initiée depuis 2016 au sein du laboratoire et a impliqué le travail de plusieurs chercheurs et collaborations. J'y ai notamment contribué lors de ma thèse ainsi que lors d'un CDD de 2 ans la précédant.

### 2.1.1 Objectifs

Comme mis en lumière dans l'état de l'art, les méthodes de classification existantes (e.g., NOVA pour la plus reprise) ont montré une imprécision et une association de critères de classification de différentes natures (e.g., type d'ingrédients et/ou d'additifs, nombre d'ingrédients, type d'opération unitaire, mode de transformation). Ces classifications ayant été pour la plupart imaginées par des chercheurs du domaine de la nutrition (**Tableau 5**), le besoin de caractériser le degré de transformation des aliments (indépendamment de la transformation) d'après la communauté des technologues alimentaires a été mis en avant.

À l'instar du développement d'un score nutritionnel tel que le Nutri-Score ([Drewnowski et al., 2021](#)), nous détaillerons la construction du Process-Score en commençant par l'aspect méthodologique à travers les hypothèses et les choix retenus. Les étapes de validation de cette méthodologie seront ensuite présentées. Puis, des exemples d'application du Process-Score sur différents produits seront illustrés. Finalement, les forces et faiblesses de cet indicateur seront discutées, ainsi que les pistes d'amélioration.

### 2.1.2 Méthodologie détaillée

#### 2.1.2.1 Hypothèses et choix méthodologiques

La volonté du Process-Score est de caractériser de manière quantitative une distance à la matière première. Le score est d'autant plus élevé que l'intensité de la transformation entre la matière première et le produit final est élevée. Celle-ci se traduit par les transformations physiques, chimiques ou biologiques pouvant avoir lieu.

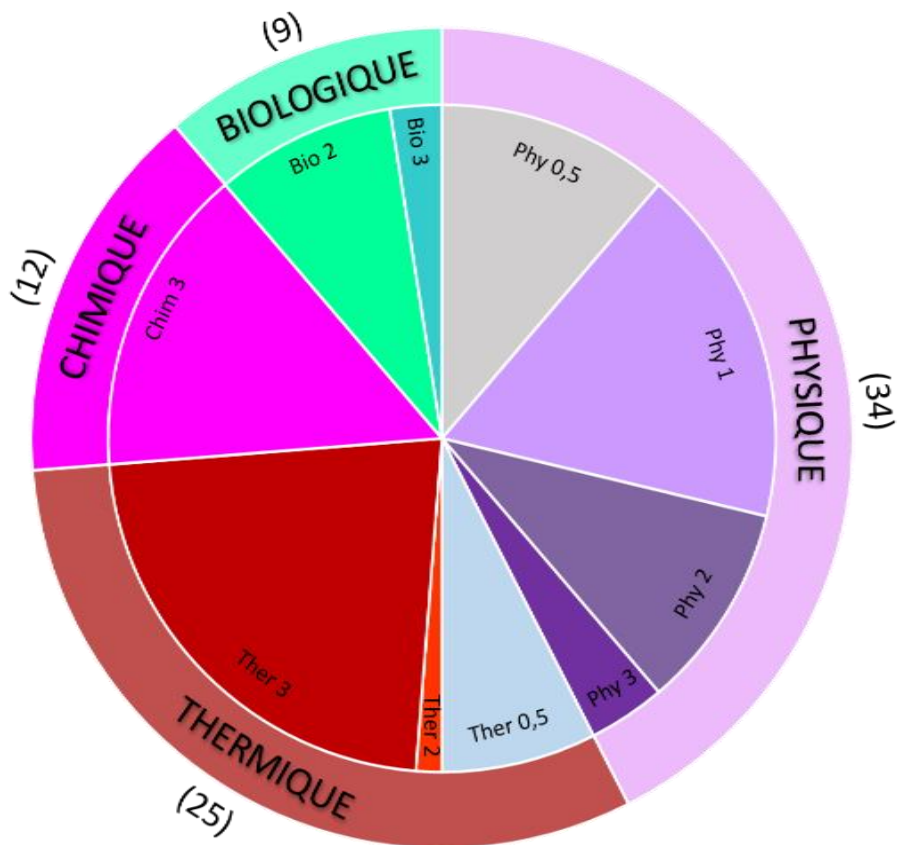
L'intensité de ces transformations est donc caractérisée de manière semi-quantitative par les paramètres opératoires tels que la température, la pression, la vitesse et le temps, en lien avec l'énergie thermomécanique transmise à la matière première et aux modifications physiques, chimiques ou biologiques provoquées.

Ces modifications apportées doivent pouvoir être définies selon des règles simples et applicables sur la base des informations disponibles sur l'emballage et la connaissance de diagrammes technologiques génériques disponibles dans la littérature. Ainsi, le choix a été fait de rassembler les différentes opérations unitaires par grands groupes (**Figure 28**) dans une première maille grossière, et de considérer



des opérations unitaires génériques, indépendamment de la matrice alimentaire sur laquelle elle s'applique. Les 5 grands groupes retenus sont présentés en **Figure 28**, avec la hiérarchie suivante : mécanique (1,2) < physique (2) < thermique (2,2) = biologique (2,2) < chimique (3). En effet, on peut par exemple citer les étapes de fractionnement de la farine de blé (e.g., opération 2 : sassage, opération 4 : blutage, opération 8 : broyage, opération 16 : claquage, **Tableau 7**) afin d'illustrer la catégorie mécanique (Dal-Pastro et al., 2016) : ces étapes ont une répercussion sur les propriétés des produits finaux (e.g., les propriétés rhéologiques de la pâte à pain) (Hackenberg et al., 2018). Le pétrissage (opération 20) de la pâte à pain, entraînant notamment des modifications sur la structure du produit (i.e., réseau de gluten) (Cappelli et al., 2020), appartient également à cette catégorie mécanique. La cuisson des produits se retrouve naturellement dans la catégorie thermique, avec une incidence directe sur les arômes et la texture des produits, en lien avec la réaction de Maillard pour le pain de mie (Mondal & Datta, 2008). La catégorie physique, plus restreinte, contient des opérations telles que la cristallisation, responsable du changement de structure du sucre (Simoglou et al., 2005). La catégorie biologique contient les étapes de fermentation (e.g., opération 56), importantes dans le cas du pain de mie pour le développement des arômes et la structure de la mie (Hu et al., 2022). Finalement, on peut trouver dans la catégorie chimique l'utilisation de sels de fonte (e.g., citrate de sodium E331, polyphosphate E452), comme par exemple pour la fabrication de fromages fondus (Lu et al., 2008).

Face à la complexité de l'interclassement de toutes les opérations unitaires, le choix a été fait de classer entre les catégories et au sein de chaque sous-catégorie. Afin de hiérarchiser les différentes opérations unitaires au sein de chaque grand groupe, des sous-catégories ont donc été établies (12 au total) avec un coefficient associé pour chaque (e.g., les opérations thermiques « froides » ont un coefficient de 0,5 tandis que les opérations thermiques les plus intenses ont un coefficient de 3) (**Figure 28** & **Tableau 7**).



**Figure 28.** Répartition des 80 opérations unitaires en 5 grandes catégories, et 12 sous-catégories. Le nombre d'opérations unitaires par grande catégorie est précisé entre parenthèses.

Finalement, chacune des 80 opérations unitaires possède son propre indice au sein de la catégorie à laquelle elle appartient (toujours selon son intensité). La note finale de chaque opération unitaire est ensuite calculée selon la formule :

<p><b>Note de l'opération unitaire</b>  <b>= coefficient de la sous-catégorie × indice de l'opération unitaire</b></p>
--

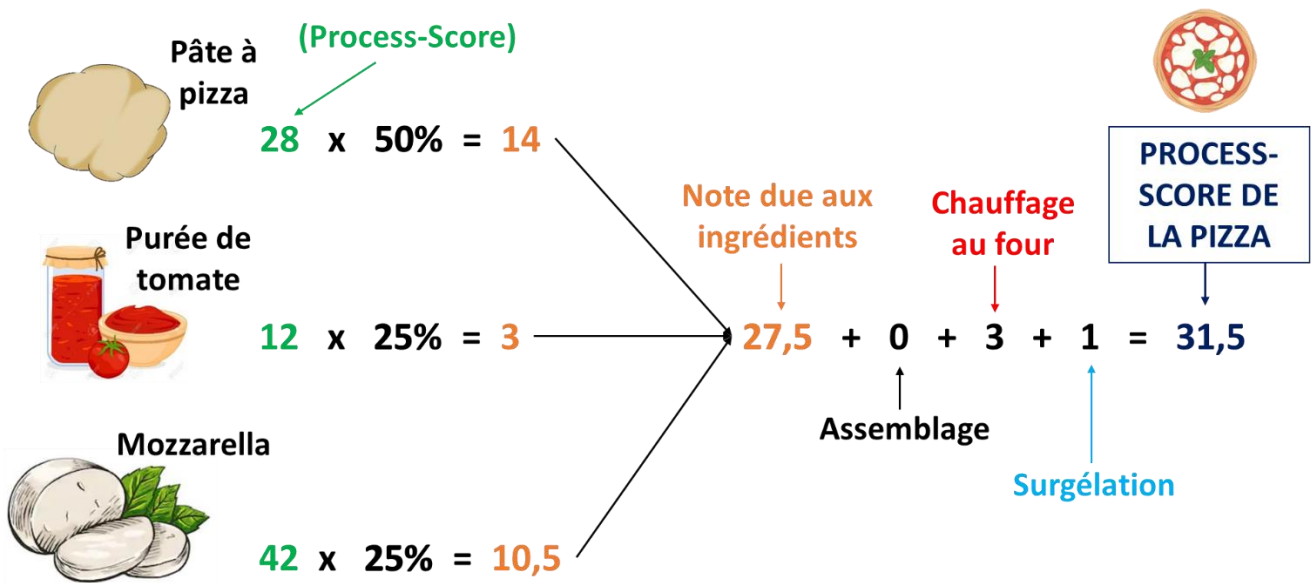
Le parti pris a été de ne considérer que des notes positives s'ajoutant pour calculer le Process-Score. Ainsi, les aspects positifs (e.g., meilleure biodisponibilité) et négatifs (e.g., création de composés néoformés) de la transformation — en particulier sur la santé — vus en § 1.1.3 ne sont pas mis en opposition avec des notes qui auraient pu être négatives ou positives. En effet, de tels effets seraient à nuancer selon la matrice considérée.

Par ailleurs, afin de calculer le Process-Score d'un aliment, il est nécessaire de prendre en compte la transformation en amont des ingrédients qui le composent. Il a été choisi de pondérer la part du Process-Score due aux ingrédients par leur pourcentage massique dans l'aliment (cf. § 2.1.2.3), selon la formule suivante :

$$Process-Score_{total} = \sum_{i=1}^{nb\ ing} (Process-Score_i \times \% \text{massique}_i) + \sum_{u=1}^{nb\ op\ u} Note_u$$

*nb ing = nombre d'ingrédients de l'aliment ; nb op u = nombre d'opérations unitaires.*

Un exemple concret de calcul d'un Process-Score est illustré en **Figure 29** : la note due aux ingrédients est calculée en pondérant les Process-Scores de chaque ingrédient par leur masse dans la recette, puis les différentes opérations unitaires sont ajoutées afin de calculer le Process-Score de la pizza.



**Figure 29.** Exemple de calcul du Process-Score d'une pizza surgelée.

Finalement, à l'image des sels de fonte précédemment évoqués, seuls les additifs indispensables à la réalisation d'opérations unitaires (e.g., fonte des fromages) ont été considérés dans le calcul du Process-Score. Les autres additifs, bien qu'également partie prenante de la transformation des aliments, sont à considérer séparément dans cette version du Process-Score (cf. § 2.1.2.3).

### 2.1.2.2 Barème complet des opérations unitaires

Afin de documenter la méthodologie et d'assurer la transparence pour que le calcul du Process-Score puisse être reproduit par d'autres utilisateurs, chaque opération unitaire a été décrite dans le **Tableau 7**, avec des précisions sur la nature de l'opération et les conditions opératoires. La note finale de chaque opération unitaire a été calculée selon la formule précédemment décrite.

**Tableau 7.** Catalogue des 80 opérations unitaires, définies et rassemblées en 5 grandes catégories et 12 sous-catégories, avec leurs notes finales.

n° opé	Nom opération	Catégorie	Sous catégorie	Note caté	Note opé	Note finale	Description de l'opération	Matériel	Temps (t) Température (T°) Pression (P)
1	Tamissage	P H Y S I Q U E	Fractionnement	0,5	1	<b>0,5</b>	Passage de particules solides ou d'une suspension au travers d'un tamis pour réaliser la séparation des particules en différentes dimensions	Tamis	T° : T° ambiante
2	Sassage			0,5	1	<b>0,5</b>	Classement par densimétrie des produits après broyage en meunerie (épuration des semoules)	Sasseur	T° : T° ambiante
66	Épluchage/ Décortilage			0,5	1	<b>0,5</b>	Action d'enlever la peau, la coque, l'enveloppe...	Éplucheuse	T° : < T° ambiante
3	Soutirage			0,5	1	<b>0,5</b>	Transfert d'un liquide (e.g., boisson fermentée) d'un contenant à l'autre, notamment pour éliminer les particules déposées au fond	Batch, Fût, Tank, Citerne & Siphon, Pompe	
4	Blutage			0,5	1	<b>0,5</b>	Opération de tamissage : séparation de calibrage, par voie sèche, des constituants du blé après le broyage, le claquage ou le convertissage	Plansichter	T° : T° ambiante
5	Filtration			0,5	3	<b>1,5</b>	Séparation des constituants d'un mélange possédant une phase dispersante (liquide ou gaz) et une ou plusieurs phases dispersées (liquide, solide ou gaz) au travers d'un milieu poreux	Filtre à plaques ou Filtration tangentielle	
6	Centrifugation			0,5	3	<b>1,5</b>	Séparation des composés d'un mélange en fonction de leur différence de densité en les soumettant à une force centrifuge	Décanteuses & Essoreuses	
7	Wintérisation ou Décirage			0,5	3	<b>1,5</b>	Filtration à froid des huiles pour les rendre limpides à basse température en élimant les cires ou fractions à haut point de fusion (insoluble à froid)	Filtre à plaques ou Centrifugeuse	T° : 5-10 °C
74	Mélange phase homogène		Mélange	0,5	1	<b>0,5</b>	Mélange simple de deux phases miscibles	Mélangeur/Rotor-stator	T° : < T° ambiante
21	Mélange solide/liquide			1	1	<b>1</b>	Association de deux ou plusieurs substances solides, liquides ou gazeuses qui n'interagissent pas chimiquement	Désintégrateur à couteaux ou à rotor/stator	
20	Pétrissage			1	2	<b>2</b>	Presser et malaxer, afin d'obtenir une pâte	Pétrin	
22	Barattage			1	3	<b>3</b>	Agitation mécanique violente de la crème aboutissant à une inversion de phase qui se traduit par la formation de grains de beurre et de babeurre	Barrate ou Butyrateur	

23	Homogénéisation à haute pression	P H Y S I Q U E	Modification de la taille des particules	3	2,5	7,5	Projection d'un produit liquide ou pâteux sous forte pression, afin de stabiliser le résultat de la dispersion et limiter le phénomène de séparation	Homogénéisateur à haute pression	P : 30-1 000 bar	
75	Découpe			1	0,5	0,5	Découpe simple, relativement grossière (e.g., concombre coupé en lamelles)	Couteaux		
13	Tranchage/Cisaillement/Râpé			1	1	1	Découpe en petits morceaux, cisaillements importants (e.g., découpe du caillé, découpe d'ail en tous petits morceaux, fromage râpé)	Trancheuse, Râpe		
9	Concassage			1	1	1	Réduire en petites parties (jusqu'à quelques millimètres) avec un outil (marteau, pilon) quelque matière dure ou sèche comme le sucre, le poivre...	Concasseur		
10	Pressage			1	1,5	1,5	Pressage (e.g., de fruits) pour en extraire le jus OU application de diverses pressions sur le caillé afin de former le fromage	Presse, Extracteur de jus		
11	Écrasement/Compression lente			1	1,5	1,5	Aplatir, briser quelque chose par un grand poids, une forte compression (corps mobile contre corps fixe)	Laminoir, Presse		
12	Moulinage/Fouettage			1	1,5	1,5	Remuer énergétiquement (e.g., battre les œufs en neige)	Foisonneur		
8	Broyage			1	2	2	Diviser un solide pour augmenter sa surface spécifique et sa réactivité (granulométrie plus fine que concassage : inférieure au millimètre)	Broyeur		
14	Mixage			1	2	2	Mélange des ingrédients et réduction de leur taille	Mixeur, Hâchoir		
15	Attrition			1	2	2	Broyage de la matière réalisé par usure des particules entre des billes mises en mouvement soit au moyen de pales rotatives dans un récipient fixe, soit au moyen de la rotation du récipient (abrasion + usure + friction)	Attriteur		
16	Claquage/Convertissage			1	2	2	Opération de broyage des semoules (parties de grains) entre des cylindres lisses pour les transformer en particules plus petites. Puis passage des particules dans différents cylindres lisses pour obtenir des produits fins jusqu'à la farine	Broyeurs à cylindres		
34	Basses pressions (vide)			Pression hydrostatique	3	1,5	4,5	Air comprimé à basse pression pour fermentation, aération, activation ou refroidissement	Pompe à vide	P : < P atmosphérique
35	Hautes pressions				3	2	6	Utilisation de la haute pression à basse température pour décontamination OU pour cuisson à haute température (ajouter points 43)	Compresseur	P : 4 000 - 8 000 bars
87	Extrusion (sans chauffage)			Texturation	2	2	4	Mise en forme d'une pâte grâce à son passage sous pression à travers un ou plusieurs orifices qui lui donneront sa forme (cf. 70 si cuisson/extrusion)	Extrudeur	

18	Émulsification	T H E R M I Q U E	Traitement thermique (chaud)	2	2	4	Production et stabilisation d'une émulsion (dispersion de gouttelettes d'un liquide dans un autre liquide dans lequel elles ne sont pas miscibles : e.g., eau dans huile)	Turbine / Hélice	
19	Foisonnement			2	2	4	Dispersion de bulles de gaz (air, CO <sub>2</sub> , N <sub>2</sub> , N <sub>2</sub> O) dans une phase continue liquide, semi-solide ou solide afin d'obtenir une mousse	Sorbetière	
37	Thermisation			3	0,7 5	2,25	Traitement thermique peu poussé, essentiellement pour le lait cru afin de détruire certains micro-organismes	Échangeur à plaques	t : 10-60 s T° : 60-68 °C
41	Étuvage			3	1	3	Chauffage en enceinte close et à température contrôlée, en atmosphère sèche (e.g., fermentation comme yaourt) ou humide (e.g., cuisson de knacks)	Étuve	t : Quelques heures à quelques jours T° : < 45 °C
40	Blanchiment			3	1	3	traitement thermique court appliquée pour inactiver les enzymes (e.g., responsables du brunissement enzymatique pour les matières agricoles). Se réalise soit par immersion dans de l'eau bouillante, soit par traitement à la vapeur	Blancheur	t : 3 min T° : 100 °C
39	Pasteurisation flash			3	1	3	Procédé de conservation des aliments par chauffage très rapide, puis refroidissement rapide	Échangeur à plaques	t : 15 s T° : 72 °C
38	Pasteurisation haute			3	1,3 3	4	Procédé de conservation des aliments (destruction partielle des micro-organismes) par chauffage à une température supérieure à 70°C, pendant une durée définie, puis refroidissement rapide	Pasteurisateur & réfrigérant	t : < 1 min à 5 min T° : 75-85 °C
42	Pasteurisation basse			3	1,3 3	4	Procédé de stabilisation des aliments ayant en particulier un pH bas (destruction partielle des micro-organismes) par chauffage à une température inférieure à 70°C, pendant une durée définie, puis refroidissement rapide (traitement plus long et moins chaud que la pasteurisation haute, par exemple pour des considérations organoleptiques)	Pasteurisateur, groupe de chambreurs et réfrigérant	t : 20-30 min T° : 65 °C
76	"Mijotage"			3	1,6 7	5	Cuisson lente basse température dans un liquide, donnant également lieu à des échanges avec l'eau de cuisson	Batch / Cuve chauffante agitée	t : 20 min-4 h T° : 60-100 °C
68	Séchage air libre			3	2	6	Séchage à l'air libre, sans machine supplémentaire (impliquant de nombreuses modifications sur le plan microbiologique)	Énergie solaire	
36	Chauffage moyen	3	2	6	Chauffage intermédiaire (par convection)	Four	T : < 20 min T° : 100-150 °C		
44	Stérilisation ultra haute température (UHT)	3	2	6	Élimination de tout germe microbien	Upérisateur / Stérilisateur de Laguilharre / Échangeurs à plaques ou tubulaires	T° : 150 °C		
84	Chauffage intense	3	2,5	7,5	Chauffage intense, plus poussé que le 36	Four	T° : 150-200 °C		

70	Cuisson/Extrusion	T H E R M I Q U E		3	3	9	L'extrusion consiste à forcer un produit à s'écouler à travers un orifice de petite dimension, la filière, sous l'action de pressions et de forces de cisaillements élevés, grâce à la rotation d'une ou deux vis d'Archimède. L'échauffement qui en résulte provoque une cuisson du produit.	Extrudeur	
43	Chauffage très intense			3	3	9	Chauffage très intense (e.g., torréfaction)	Four	t : ~ 20 min T° : > 200 °C
69	Bain d'huile			3	3	9	Cuisson plutôt rapide, à forte température pour faire de la friture	Friteuse	T° : 160-180 °C
45	Réfrigération		T r a i t e m e n t t h e r m i q u e (froid)	0,5	1	0,5	Technique de conservation visant à se placer juste au dessus du point de congélation pour ralentir la vitesse de développement des micro-organismes	Air / Contact / Immersion ou aspersion dans liquide réfrigérant	T° : 0-4 °C
67	Cryogénisation			0,5	1,5	0,75	Utilisation de gaz liquides comme réfrigérants pour modifier les propriétés physiques des matériaux ou maintenir une température donnée durant les différentes étapes d'un procédé	Gaz liquides	T° : < -180 °C
47	Surgélation			0,5	2	1	Technique industrielle qui consiste à refroidir brutalement des aliments	Surgélateurs / Cellules de surgélation à plaques / Chariots / Tunnels de surgélation	t : 5 min pour haricots / 15 min pour un poulet entier T° : -35/-45 °C pour -18° à cœur
46	Congélation			0,5	3	1,5	Procédé similaire à la surgélation, mais refroidissement moins intense et plus lent	Air Stagnant / Lit fluidisé / Air ventilé / Contact / Aspersion ou Immersion dans liquide frigorifique / Cryogénie	t : > à surgélation T° : -18/-20 °C pour -12 °C à cœur
83	Épaississement par refroidissement			0,5	3	1,5	Refroidissement rapide de l'aliment à une température avec un changement d'état (hors congélation)	Échangeur à surface raclée	T° : > 0 °C



79	Lavage (avec chlore)	C H I M I Q U E	Transfert de matière	3	1	3	Décontamination des fruits et légumes (ou carcasses de viande)	Batch	
86	Cristallisation			3	1	3	Cristallisation par chauffage ou refroidissement (e.g., sucre) afin de rejeter les impuretés dans la phase liquide	cristalliseur (cuve agitée refroidie)	
25	Salage			3	1,5	4,5	Conservation de la nourriture avec du sel (e.g., jambon). À ne pas confondre avec un salage gustatif	Artisanal ou machine	
26	Saumurage			3	1,5	4,5	Procédé consistant à plonger l'aliment dans une saumure (un bain d'eau plus ou moins salé), voire à injecter directement par aiguille	Batch ou pompe à saler	
24	Fumage			3	2	6	Technique de conservation et d'aromatisation des aliments, consistant à exposer les denrées à la fumée	Fumoir	
32	Extraction par solvant			3	2	6	Procédé de séparation durant lequel le mélange intime des deux phases crée une aire interfaciale à travers laquelle le soluté peut se transférer	Contacteurs liquide-liquide	
73	Carbonatation			3	2	6	Ajout de CO2 sous pression à un liquide afin de le rendre pétillant	Carbonateur en ligne ou en cuve	
88	Lavage à l'eau	P H Y S I Q U E		1	0,5	0,5	Nettoyage préliminaire à l'eau	Cuve	
78	Fourrage			2	0,2 5	0,5	Réalisation d'un fourrage (e.g., biscuit fourré au chocolat)	Injecteur	
82	Imbibition			2	0,5	1	Mécanisme de remplacement du fluide non mouillant par un fluide mouillant au sein d'un milieu poreux	Cuve	
77	Marinade			2	1	2	Liquide agrémenté de condiments, servant à faire macérer pendant un certain temps des aliments avant de les cuire	Cuve	
27	Désodorisation/ Décoloration			2	1	2	Élimination des composés volatils responsables des odeurs et saveurs indésirables, ou des composés colorés	Réacteur sous vide / Chromatographie	
72	Désaération			2	1	2	Enlever l'oxygène d'un liquide afin de diminuer l'activité microbologique et augmenter les possibilités de conservation. Aussi pour diminuer les risques de corrosion dans les installations thermiques	Dégazeur thermique ou sous vide	

81	Ressuage	T H E R M I Q U E		0,5	2	1	Perte de liquide durant la période de refroidissement de l'aliment (pain)	Grille	
28	Lyophilisation			2	2	4	Séchage d'un produit liquide, pâteux ou solide par sublimation de l'eau : surgélation puis une évaporation sous vide de la glace sans la faire fondre	Lyophilisateur	
29	Évaporation			3	2	6	Opération de séparation par changement d'état de l'eau (liquide en vapeur) contenue dans un produit grâce à une ébullition, qui peut être réalisée à la pression atmosphérique ou bien sous pression réduite	Évaporateurs	
30	Atomisation			3	2	6	Procédé consistant à vaporiser, à l'aide d'une buse ou d'un atomiseur rotatif, une solution ou une dispersion (e.g., jus, lait) dans une colonne d'air chaud pour en éliminer le solvant (en général l'eau)	Atomiseurs	
31	Distillation			3	2	6	Procédé de séparation de mélange de substances liquides dont les températures d'ébullition sont différentes	Distillateur	
33	Séchage			3	2	6	Séparation du liquide d'un solide, d'un semi-solide voire d'un liquide par évaporation	Tapis / Tambours / Séchoir / Lit fluidisé / Cylindre chauffant	
62	Ajout de ferments ou bactéries			B I O L O G I Q U E		2	0,5	1	
59	Ajout de levain (levure + bactéries)	2	0,5			1			
64	Affinage court (action courte des bactéries)	2	1,5			3	Période pendant laquelle un ensemble de réactions enzymatiques (protéolyse, lipolyse...), physico-chimiques et microbiologiques confère leurs caractéristiques organoleptiques (texture, goût, aspect) aux fromages	Cave d'affinage / Hâloir	t : < 1 mois
56	Fermentation par les bactéries	2	1,5			3	Transformation d'un substrat biochimique sous l'effet d'un ou de plusieurs micro-organismes. Elle peut être spontanée ou provoquée donc contrôlée		
57	Fermentation par les levures	2	1,5			3			
80	Affinage moyen (action des bactéries)	2	2,5			5	Période pendant laquelle un ensemble de réactions enzymatiques (protéolyse, lipolyse...), physico-chimiques et microbiologiques confère leurs caractéristiques organoleptiques (texture, goût, aspect) aux fromages	Cave d'affinage / Hâloir	t : 1-4 mois
65	Affinage long (action prolongée des bactéries)	2	3,5			7		Cave d'affinage / Hâloir	t : > 4 mois
48	Hydrolyse enzymatique	3	3			9	Utilisation d'enzyme pour accélérer un processus	Enzyme (e.g., amylase)	
49	Coagulation du lait par ajout de présure	3	3			9	Enzyme utilisée pour accélérer la coagulation du lait	Présure	

85	Ajout de minéraux ou vitamines	C H I M I Q U E		3	0,5	<b>1,5</b>	Pour enrichissements		
71	Ozonation			3	3	<b>9</b>	Traitement chimique par oxydation visant à stériliser le produit en détruisant les germes pathogènes, essentiellement sur l'eau	Ozoneur	
50	Addition de sels de fonte			3	3	<b>9</b>	Utilisés comme émulsifiants, notamment pour rendre le fromage plus crémeux en facilitant le mélange des protéines du lait avec l'eau		
53	Ajout de paraffine			3	3	<b>9</b>	Couche de protection pouvant être utilisée sur la croûte de certains fromages (e.g., gouda)		
55	Ajout d'autres produits chimiques			3	3	<b>9</b>	Autres produits chimiques (e.g., stabilisateurs, émulsifiants) indispensables pour le produit et non annexes (e.g., colorants, arômes)		

Certains cas particuliers ont également été rencontrés et figurent dans une liste afin de garantir un suivi de ces décisions. Par exemple, la préparation de l'aliment n'a été prise en compte que si elle était indispensable pour consommer l'aliment (e.g., la purée instantanée n'a pas été considérée comme telle, mais réhydratée). De même, la peau des fruits et légumes a été par défaut considérée comme mangée, sauf si impossible (e.g., noix de coco, ananas). Finalement, des œufs liquides ont été pris en compte pour les recettes génériques contenant des œufs (sauf cas précisés avec des œufs entiers, comme les préparations maison).

### *2.1.2.3 Les modèles alternatifs testés*

Étant donné que l'utilisation des additifs est grandement liée à des défis technologiques, il s'agit d'un pan important de la transformation. C'est pourquoi, initialement, le Process-Score avait été développé avec une composante « diagramme technologique » et une composante « additifs ». Cependant, lors des premiers essais, le poids accordé aux additifs était prédominant et expliquait les variations de Process-Scores entre les différents produits. Afin de rester dans l'objectif initial de caractériser la transformation indépendamment de la formulation, le choix a été fait dans la thèse de ne pas inclure les additifs dans le Process-Score, et de les caractériser séparément (nombre et fonctions). De plus, les mêmes limites de comparaison des additifs selon leurs impacts se posent.

Un modèle de score par points s'additionnant (sans pondération pour tenir compte des proportions) a également été considéré. Il n'a pas été retenu car cela posait des incohérences pour des aliments tels qu'un mélange d'épices ou de légumes, avec un mélange de 10 épices qui aurait une note 10 fois plus élevée qu'une épice seule, alors que leurs niveaux de transformation seraient proches. Cependant, le modèle sélectionné avec pondération peut questionner sur la prise en compte des ingrédients techniques tels que le gluten (voire les additifs s'ils étaient considérés en tant qu'ingrédients), utilisés en faible proportion. En effet, même avec un fort Process-Score, leur répercussion dans la recette est relativement faible puisque leur pourcentage dans l'aliment final est faible.

### *2.1.2.4 Mise en place d'un outil de calcul des Process-Scores et automatisation*

Le calcul des Process-Score a été réalisé par le biais d'un tableur Excel, et a été automatisé autant que possible grâce aux formules et à du code VBA. Une première feuille « Barème » précise les différentes opérations unitaires, et les notes associées à chacune. Une feuille « Recettes » permet de rentrer les compositions massiques pour chaque ingrédient composant chaque aliment. Finalement, une feuille « Calcul » contient la liste de tous les aliments et ingrédients, dans laquelle il est nécessaire d'ajouter les différentes opérations unitaires subies par le produit. Ainsi, le nombre de fois où l'opération unitaire est rencontrée (e.g., 0, 1, 2) est ajouté dans les 80 colonnes relatives aux 80 opérations unitaires. Les formules Excel permettent de faire appel à la feuille « Barème » afin de sommer le score dû à ces différentes opérations unitaires,

tandis qu'un code VBA permet de calculer la part du score due aux ingrédients.

Une boucle d'itération a été ajoutée par le biais d'une colonne rang dans la feuille « Calcul » pour traiter le cas d'éléments imbriqués. En effet, il n'est pas souhaitable de calculer tous les Process-Scores au même moment (e.g., auquel cas la pâte à pizza n'aurait pas le bon Process-Score pour la farine de blé), mais plutôt d'adopter une stratégie progressive (e.g., d'abord la farine de blé, puis la pâte à pizza, puis la pizza).

Cet outil a déjà été réutilisé par différents utilisateurs avec succès, mais une automatisation et une interface utilisateur plus poussées (e.g., choix des opérations unitaires) seraient bénéfiques pour ouvrir l'outil à d'autres utilisateurs.

#### 2.1.2.5 Estimation des recettes : l'outil Anatole<sup>©</sup>

Un autre prérequis nécessaire au calcul du Process-Score est la connaissance de l'intégralité de la composition de l'aliment vis-à-vis des pourcentages massiques de ses ingrédients constitutifs. Or, dans la majorité des cas, rares sont les produits étiquetant les pourcentages massiques des ingrédients en totalité. Face à cette nécessité d'estimer les pourcentages manquants de certains ingrédients, le développement de l'outil Anatole<sup>©</sup> a été lancé (Leroy et al., 2022).

Cet outil fait une optimisation entre les valeurs nutritionnelles du produit final (e.g., étiquetées d'après le règlement INCO) et les valeurs nutritionnelles de chaque ingrédient (tirées des bases de données nutritionnelles telles que Ciqual), en prenant en compte les informations données par le produit (e.g., pourcentage de certains ingrédients) et les contraintes de la réglementation (e.g., ingrédients étiquetés par ordre massique décroissant pour ceux > 5%, lors de la mise en œuvre).

Cet outil a donc été utilisé pour combler les pourcentages manquants à certaines recettes.

### 2.1.3 Mise en application du Process-Score

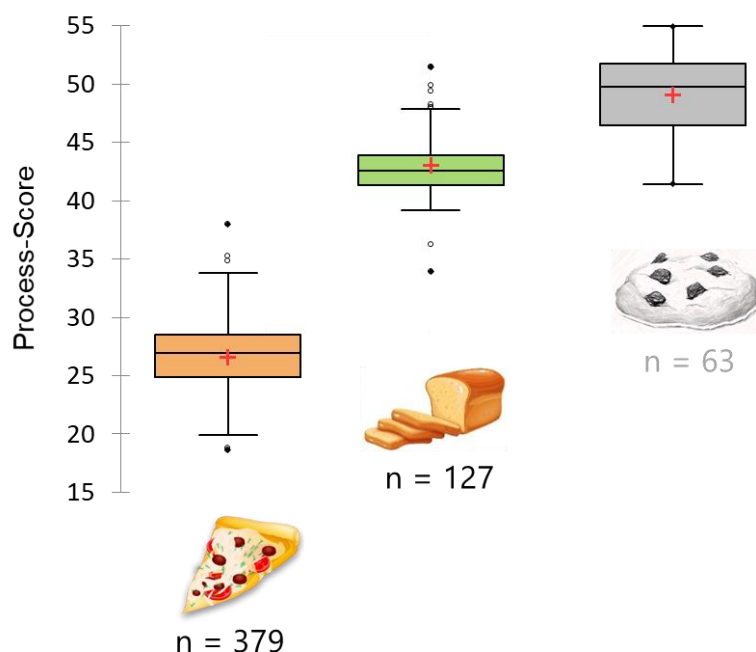
Afin d'illustrer l'application du Process-Score à différents produits, nous présenterons dans un premier temps les résultats obtenus pour les pizzas et pains de mie industriels caractérisés dans le cadre de la thèse, ainsi que les cookies industriels sur lesquels nous avons collaboré (Liechti et al., 2022). Puis, dans un spectre plus large, nous présenterons les Process-Scores obtenus pour plus de 2 000 aliments génériques constituant la base de données NutriNet-Santé (Hercberg et al., 2010).

#### 2.1.3.1 Exemples des Process-Scores pour des familles de produits industriels

L'utilisation du Process-Score sur les familles des pizzas, pains de mie et cookies (**Figure 30**) permet d'illustrer la capacité de ce dernier à décrire la diversité au sein d'une famille donnée. En effet, on peut voir en **Figure 30** l'amplitude des Process-Scores là où pour ces familles de produits, un indicateur tel que NOVA donnerait quasi

exclusivement des produits en NOVA4 considérés comme ultra-transformés. D'un point de vue comparatif, les cookies apparaissent avec un Process-Score moyen plus élevé que les pains de mie. Contrairement à ce qui pourrait être attendu, les pizzas sont les moins transformées de ces trois familles, ce qui s'explique par la présence d'éléments tels que la sauce tomate ou la garniture ayant un faible Process-Score.

Il est intéressant de noter que la diversité décrite en **Figure 30** s'explique majoritairement par la différence en termes d'ingrédients utilisés (i.e., les recettes). En effet, pour des produits tels que le pain de mie, l'absence de détails sur les procédés de fabrication entraîne l'usage de diagrammes de fabrication génériques, qui sont donc appliqués pour de nombreux pains de mie (cf. § 2.2.3.1.2 pour une discussion plus approfondie sur les pains de mie). On peut également noter davantage de variabilité pour les cookies que pour les pains de mie, en accord avec un éventail de recettes possibles plus large pour des cookies que pour des pains de mie.



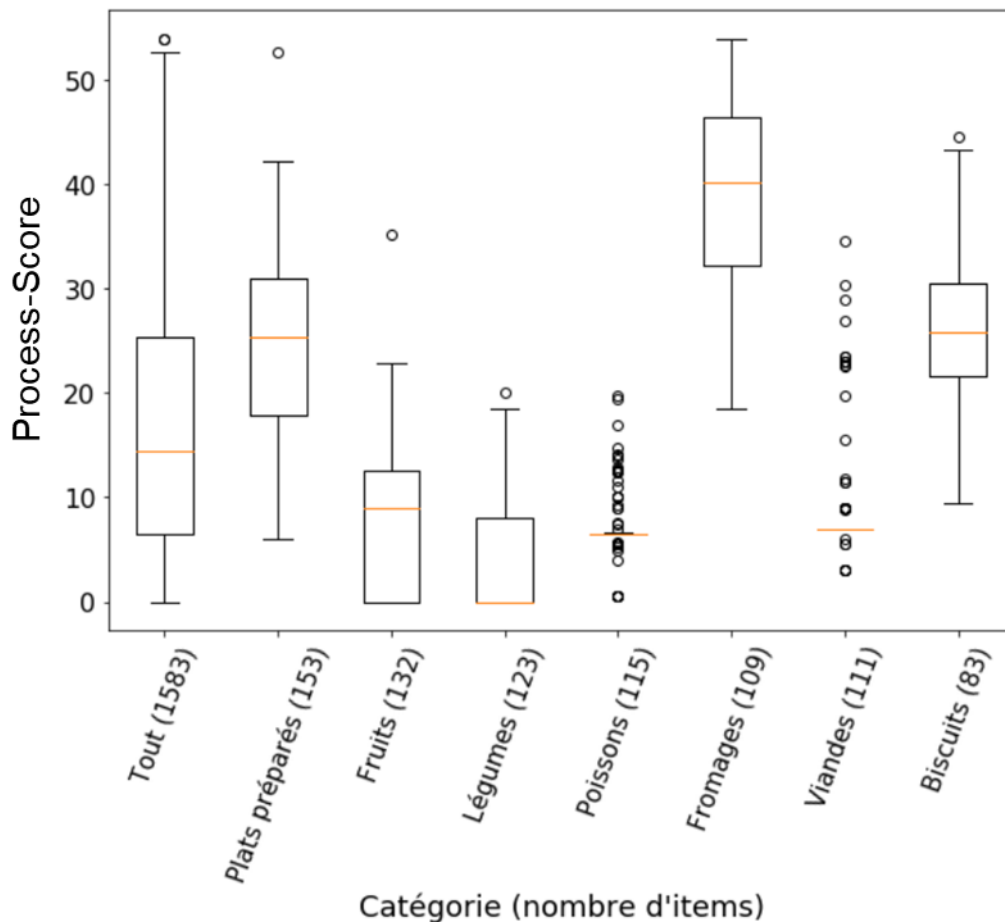
**Figure 30.** Boxplots des Process-Scores de différentes catégories de produits industriels.

*La moyenne est représentée par une croix rouge, les boxplots sont construits par les 1<sup>er</sup> et 3<sup>e</sup> quartiles, et les « moustaches » correspondent à la médiane  $\pm 1,5 \times$  écart interquartile.*

### 2.1.3.2 Process-Scores des aliments de la base de données NutriNet-Santé

Dans une optique d'appliquer le Process-Score à l'ensemble de la diète, une collaboration a été réalisée avec l'EREN (Équipe de Recherche en Épidémiologie Nutritionnelle). Un Process-Score a donc été attribué à environ 1 500 aliments parmi les 2 222 constituant la base de données, ce qui a permis de valider la faisabilité de la méthode à grande échelle. Les résultats, présentés sous forme de boxplots en **Figure 31**, ont montré de la diversité en termes de Process-Scores, allant de 0 (e.g., certains

fruits cueillis) à plus de 50 (e.g., certains fromages). Il est également possible de voir différents profils de boxplots parmi les principales catégories d'aliments. Les catégories des fruits et légumes, ainsi que les poissons et viandes, sont logiquement celles affichant les Process-Scores les plus bas. Ces catégories contiennent des produits très simples (e.g., steak, pomme), ainsi que d'autres produits plus élaborés (e.g., compotes, jambon fumé). Les plats préparés et les biscuits présentent des boxplots relativement semblables et au-dessus des catégories précédemment citées, là où la catégorie des fromages apparaît comme celle présentant les Process-Scores les plus hauts, en accord avec les multiples opérations nécessaires à l'obtention d'un fromage.



**Figure 31.** Boxplots des Process-Scores pour les principales catégories d'aliments de la base de données de l'étude NutriNet-Santé.

*La médiane est en orange, les boxplots sont construits par les 1<sup>er</sup> et 3<sup>e</sup> quartiles, et les « moustaches » correspondent à la médiane  $\pm 1,5 \times$  écart interquartile.*

Pour un tel travail, le degré de détail est moindre que ce qui a précédemment été présenté pour une seule catégorie de produit, puisqu'il faut restreindre la variabilité dans un souci de faisabilité et considérer des aliments génériques. Par exemple, cette base de données présente 13 références de pizzas, 1 référence de cookies et 4 références de pains de mie. Cependant, même en considérant des produits génériques, le Process-Score permet d'entrevoir des différences entre les différentes catégories de



produits (e.g., fromages et biscuits), et également entre les différents aliments au sein d'une catégorie de produits.

### 2.1.3.3 Quels liens entre Process-Score, Nutri-Score et données nutritionnelles ?

Afin d'identifier les variables corrélées ou non avec le Process-Score, des coefficients de corrélation ont été calculés. Le **Tableau 8** présente ces coefficients pour les pizzas, pains de mie et cookies précédemment présentés.

Il est intéressant de noter la forte influence de la catégorie de produits considérée. Par exemple, la corrélation entre taux de fibres et Process-Score est positive pour les pains de mie, tandis qu'elle est négative pour les pizzas. Une grande prudence est donc nécessaire pour interpréter de tels résultats. Des modèles PLS (Partial Least Square) pourraient également être envisagés afin d'étudier les variables les plus étroitement liées au Process-Score à travers différents modèles.

**Tableau 8.** Corrélations entre le Process-Score et les variables nutritionnelles et liées à la transformation.

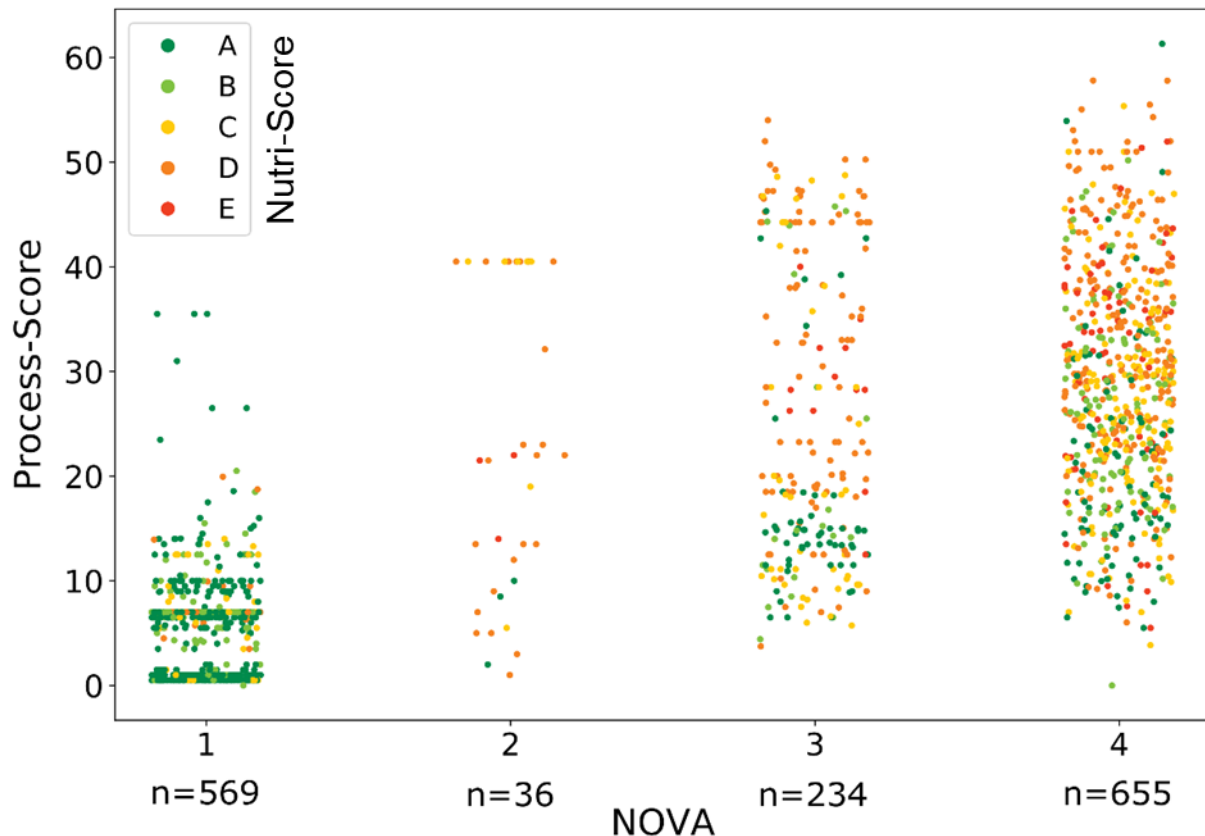
*Coefficients de corrélation de Spearman. En gras si corrélation significative.*

	Process-Score		
	Pizza	Pain de mie	Cookie
<b>n =</b>	<b>379</b>	<b>127</b>	<b>58</b>
<b>Énergie</b>	<b>0,49</b>	0,10	<b>0,30</b>
<b>Lipides</b>	<b>0,34</b>	<b>0,38</b>	0,10
<b>Acides gras saturés</b>	<b>0,45</b>	<b>0,21</b>	-0,43
<b>Glucides</b>	<b>0,27</b>	0,05	0,12
<b>Sucres</b>	-0,06	0,08	0,07
<b>Fibres</b>	<b>-0,21</b>	<b>0,40</b>	0,19
<b>Protéines</b>	<b>0,39</b>	<b>-0,37</b>	-0,22
<b>Sel</b>	<b>0,46</b>	0,02	<b>0,42</b>
<b>Rayner</b>	<b>0,56</b>	<b>0,29</b>	0,19
<b>Nutri-Score</b>	<b>0,55</b>	<b>0,27</b>	-0,01
<b>Nbr ingrédients</b>	0,10	0,11	<b>0,43</b>
<b>Nbr additifs</b>	<b>0,19</b>	-0,01	<b>0,30</b>

De même, sur la seule base de ces trois catégories de produits, il semble difficile d'apprécier une tendance globale puisqu'aucune corrélation n'est commune aux trois

espaces produits. Le lien entre Process-Score et Nutri-Score pourrait néanmoins être intéressant à explorer puisqu'il n'est pas apparu pour les cookies, cependant la répartition des données pourrait expliquer ce coefficient proche de 0 (i.e., 3 cookies Nutri-Score D et 55 cookies Nutri-Score E).

Et en effet, en considérant le jeu de données NutriNet-Santé plus riche et présentant davantage de diversité, la **Figure 32** semble montrer des produits Nutri-Score A relativement vers le bas (faibles Process-Scores) tandis que les Nutri-Scores D et E se trouvent davantage vers la partie supérieure de la figure (forts Process-Scores).



**Figure 32.** Process-Score des aliments de la base de données NutriNet-Santé (n = 1 494) en fonction de leur catégorie NOVA et de leur Nutri-Score.

*NB : Certains aliments manquent par rapport à la **Figure 39** car leurs Nutri-Scores n'étaient pas renseignés.*

#### 2.1.3.4 Quels liens entre le Process-Score et les autres scores existants (NOVA) ?

Afin d'évaluer l'intérêt du Process-Score, il est nécessaire de le comparer aux autres scores déjà existants en observant si des liens peuvent être faits.

La **Figure 32** permet de visualiser la discordance entre NOVA et le Process-Score, dans la mesure où les distributions des Process-Scores sont très étalées pour les produits NOVA 1, 2, 3 ou 4.

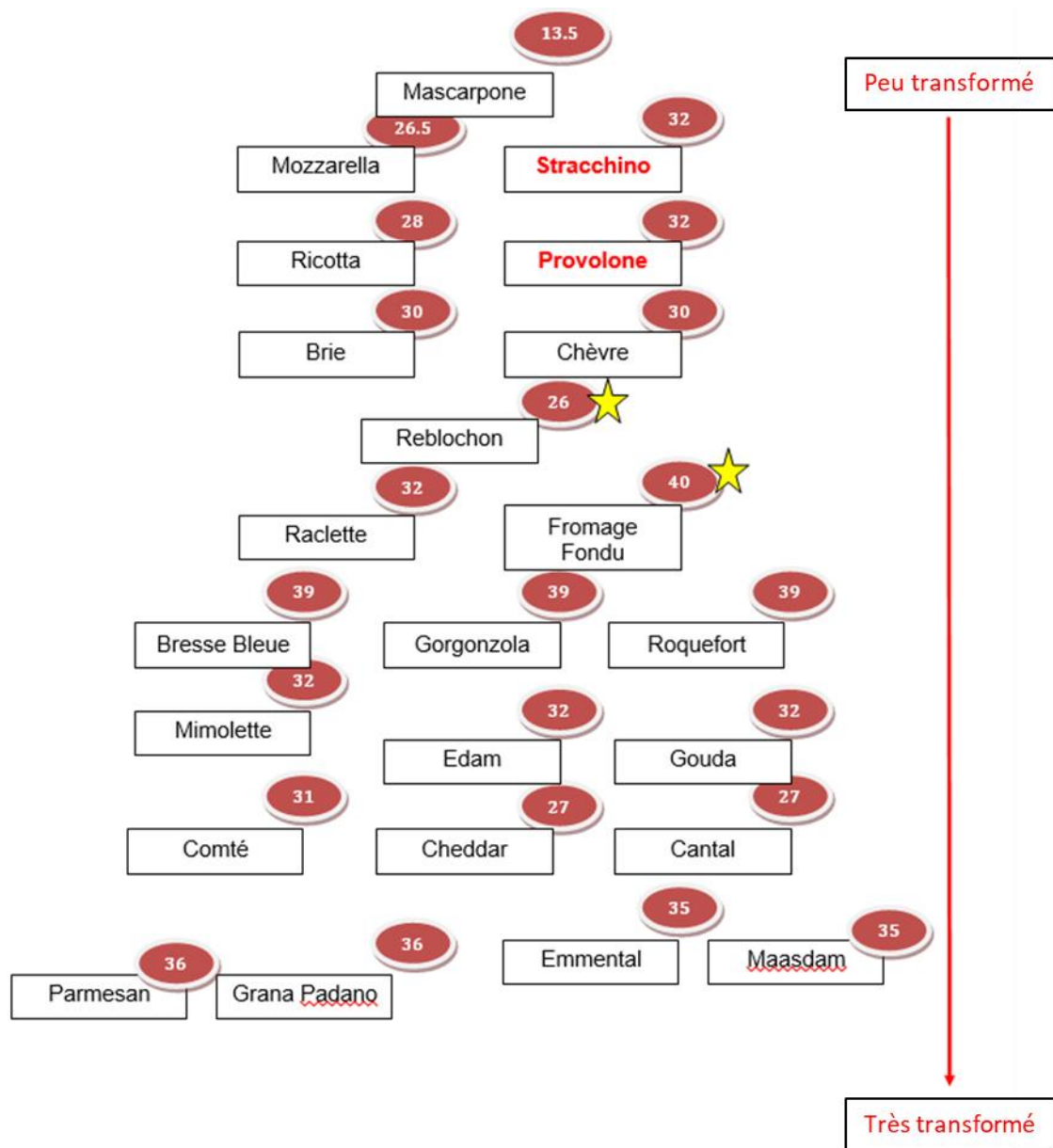
Certains cas particuliers sont également intéressants à souligner dans la **Figure**

**32.** Des produits en NOVA1 tels que la farine apparaissent aux alentours de 35 pour leurs Process-Scores, notamment puisque de nombreuses opérations de meuneries sont nécessaires pour obtenir de telles farines raffinées. On remarque également une forte disparité au sein de la catégorie NOVA2, avec notamment les huiles qui subissent de nombreuses opérations (e.g., filtrations, extractions, désodorisation) et présentent un Process-Score aux alentours de 40. Au contraire, on peut observer quelques aliments en NOVA4 qui présentent un Process-Score très bas. Il s'agit majoritairement de boissons édulcorées, pour lesquelles le score est très proche de l'eau et où l'édulcorant n'ajoute pas de point au Process-Score.

#### 2.1.4 Validation de la méthodologie

Dans le but de valider la méthodologie proposée, un travail a été effectué afin de confronter des classements d'experts sur différentes catégories de produits (i.e., fromages, viandes, sauces tomate et pâtes à pizza) aux Process-Scores qui étaient obtenus en appliquant la méthodologie précédemment décrite.

Dans le cas des fromages, le classement des fromages des moins transformés (en haut de la **Figure 33**) aux plus transformés (en bas) a montré une hiérarchie relativement correspondante à celle du Process-Score. Il est toutefois à noter une discordance plus marquée pour le Reblochon apparaissant avec un faible Process-Score, pour lequel le diagramme de production utilisé avait probablement été trop simplifié. De même, le fromage fondu apparaissait avec un Process-Score parmi les plus hauts de la catégorie, car lors du calcul ce dernier avait été fait à partir de fromages affinés, alors que cette étape d'affinage n'est pas réalisée pour la majorité des fromages fondus (Kapoor & Metzger, 2008).

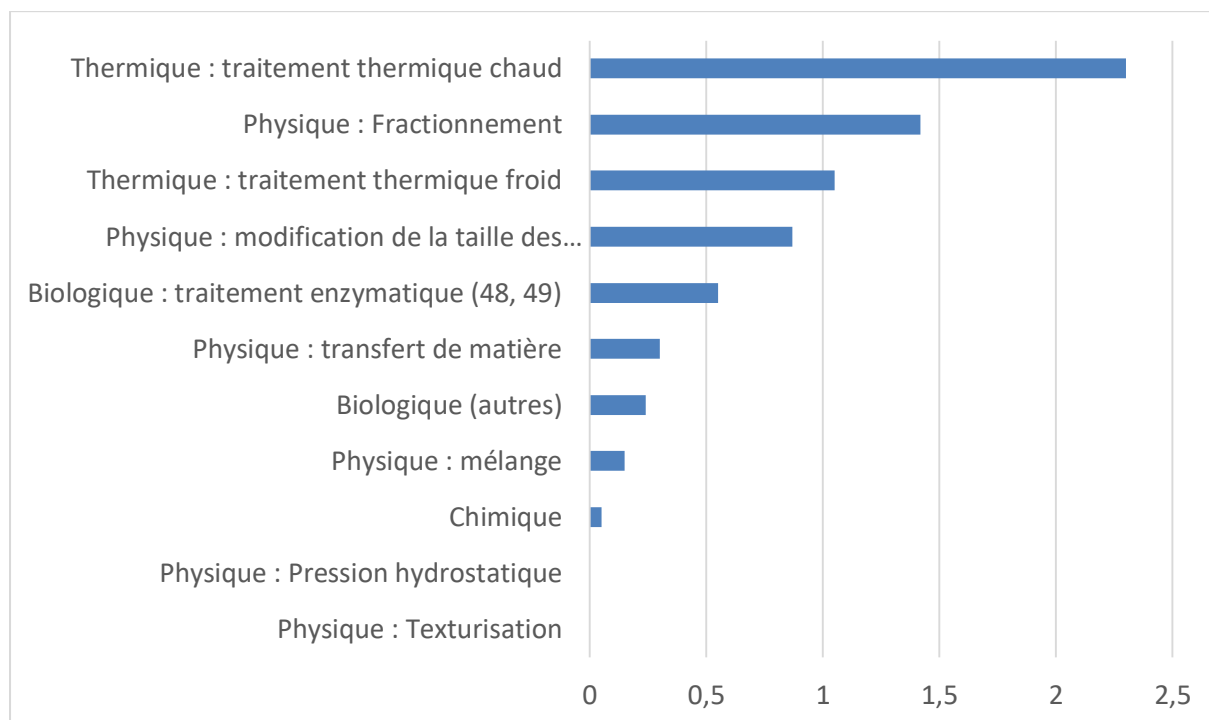


**Figure 33.** Confrontation entre les Process-Scores et les classements d'expert de fromages selon leurs degrés de transformation. Les étoiles jaunes représentent les discordances majeures. Les fromages en rouge sont ceux peu connus de l'expert.

Des analyses de sensibilité ont également été effectuées sur le jeu de données des 379 pizzas. L'objectif de ces analyses était d'étudier comment l'incertitude des sorties d'un modèle peuvent être liées à différentes sources d'incertitudes dans les entrées de ce modèle (looss & Lemaître, 2015). La méthode OAT (One-at-a-time) a été utilisée et repose sur un design « un à la fois », dans lequel chaque entrée varie tandis que les autres sont fixées. Autrement dit, l'impact de la variation des scores donnés à chaque opération unitaire a été étudié (i.e., effet élémentaire).

La **Figure 34** illustre notamment que les opérations thermiques ainsi que celles de fractionnement et de modification de la taille des particules sont les plus sensibles.

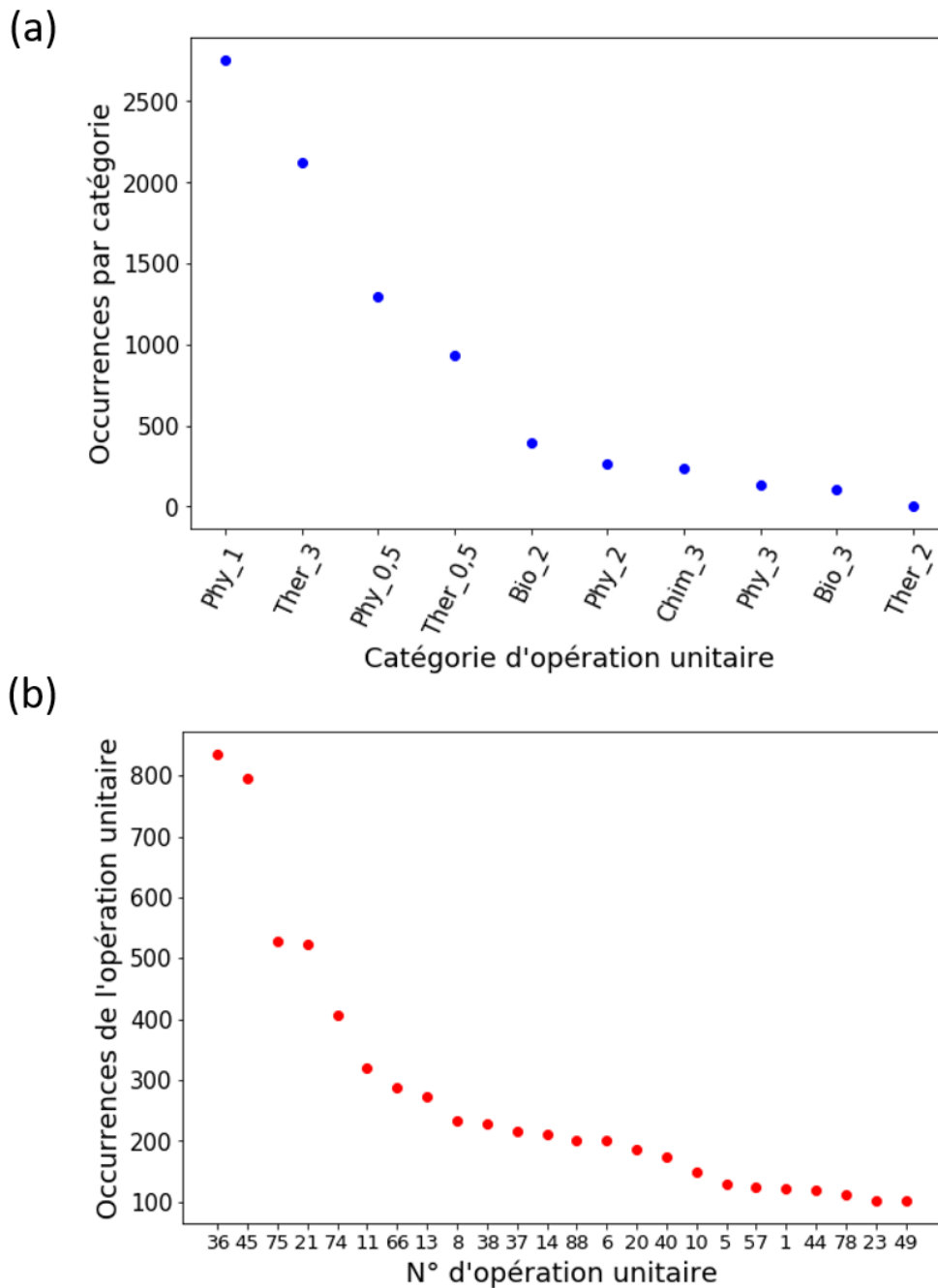
À l'inverse, les opérations de texturisation, pression hydrostatique et de traitement chimique sont celles dont la variation a le moins d'impact sur le Process-Score final.



**Figure 34.** Effets élémentaires sur les Process-Scores de 379 pizzas de variations des notes des opérations unitaires.

Il serait intéressant d'appliquer cette démarche d'analyse de sensibilité sur un échantillon plus important de Process-Scores, calculés pour différentes catégories d'aliments. Dans cette optique, une analyse de fréquence a été effectuée afin de voir quelles opérations étaient les plus courantes dans le calcul des Process-Scores des plus de 2 000 aliments de la base de données NutriNet-Santé. La **Figure 35a** montre donc que les opérations les plus courantes sont celles appartenant aux sous-catégories physique 1 et 0,5, ainsi qu'aux sous-catégories thermique 3 et 0,5. Dans le détail donné en **Figure 35b**, les opérations de chauffage modéré (36 : 6 pts), de réfrigération (45 : 0,5 pts), de mélange solide/liquide (21 : 1 pt) et de découpe simple (75 : 0,5 pts) apparaissent comme les plus fréquentes.

Il est également à noter que pour ces calculs, les opérations unitaires ont été considérées pour chaque aliment « unique ». Autrement dit, les opérations unitaires mises en œuvre pour les ingrédients (e.g., toute la garniture d'une pizza ainsi que sa pâte) ne sont pas reprises dans les comptes. Aussi, on pourrait imaginer reprendre cette même démarche en reprenant l'intégralité des opérations nécessaires pour arriver jusqu'au produit final, ce qui ferait donc se répéter les opérations des ingrédients dans les produits qu'ils composent.



**Figure 35.** Occurrences majoritaires pour le calcul des Process-Scores des aliments de la base de données NutriNet-Santé : (a) pour les catégories d'opérations unitaires, (b) pour les opérations unitaires.

Ces premières analyses permettent de mettre en évidence les opérations les plus fréquentes, et donc sur lesquelles une modification pourrait avoir le plus de répercussions. Néanmoins, des analyses de sensibilité non pas sur les 379 pizzas mais sur un jeu plus complet tel que le jeu de données de l'étude NutriNet-Santé seraient souhaitables afin de mieux visualiser les opérations unitaires les plus importantes vis-à-vis des Process-Scores finaux.

## 2.1.5 Forces et limites du Process-Score

En guise de synthèse, nous proposons un rapide bilan des forces et des limites du Process-Score, afin de juger de son apport en tant qu'indicateur de la transformation des aliments.

### 2.1.5.1 Forces du Process-Score

Le Process-Score dispose d'une méthodologie détaillée et complètement transparente visant à rendre la démarche reproductible.

Dans le contexte scientifique actuel (*cf.* état de l'art § 1) où les aliments ultra-transformés sont pointés du doigt, le Process-Score se positionne comme un indicateur objectif de la transformation des aliments et pourrait être utilisé comme outil exploratoire.

Le Process-Score présente également l'avantage de considérer uniquement la transformation, indépendamment de la formulation du produit (*i.e.*, additifs).

De plus, comme illustré en § 2.1.3, le Process-Score permet de discriminer les différents produits d'une même catégorie et de proposer une distribution étalée de produits qui pourraient être confondus par les autres indicateurs existants (*e.g.*, tous dans la même catégorie NOVA).

### 2.1.5.2 Limites du Process-Score

De prime abord, la compréhension de la construction du Process-Score peut nécessiter un premier temps d'adaptation. Le calcul du Process-Score demeure relativement lourd à mettre en place. En effet, en prérequis, il est nécessaire de connaître la composition intégrale des ingrédients du produit, et il est également nécessaire de documenter le diagramme de fabrication du produit (générique s'il n'est pas possible d'accéder au diagramme de fabrication exact du produit).

De cette généralité des diagrammes de fabrication peut découler une perte de la variabilité des procédés, et donc une homogénéisation des Process-Scores au sein d'une catégorie de produits. En effet, des produits d'une même catégorie (*e.g.*, des jus de fruits) peuvent présenter des procédés de fabrication différents (*e.g.*, flash pasteurisation, pasteurisation, stérilisation, ozonation, traitements ultrasoniques (Cullen et al., 2010; Dolas et al., 2019)). Certaines particularités peuvent être mentionnées sur l'emballage ou présumées selon les types de conservation (*e.g.*, au réfrigérateur pour des jus de fruits flash pasteurisés, ambiante pour des jus stérilisés ou pasteurisés) et les durées de conservation (*e.g.*, courtes pour des jus flash pasteurisés (quelques semaines), plus longues pour des jus pasteurisés (supérieur à un mois)), mais les diagrammes de fabrication détaillés (opérations unitaires et barèmes appliqués notamment en termes de temps, température, pression, pH...) sont rarement disponibles.



Dans sa méthodologie actuelle, le Process-Score ne prend donc pas en compte la plupart des additifs, qui peuvent être considérés comme intimement liés à la transformation des aliments.

Dans une optique de santé publique, il n'est pas encore possible de relier la valeur du Process-Score à des aspects santé (e.g., éviter les aliments aux plus hauts Process-Scores pour diminuer les risques de cancers, maladies cardiovasculaires). En effet, un fort niveau de preuves serait requis pour montrer de tels liens, à l'image du Nutri-Score où les liens entre ce dernier et la prévention des maladies ainsi que la promotion d'une diète saine sont encore discutés (Cooper et al., 2016).

### 2.1.6 Pistes d'amélioration possibles

Figurant à la fois en force (i.e., dissociant clairement la transformation) et en limite, il serait intéressant de pouvoir prendre en compte les additifs utilisés dans le score. En effet, l'utilisation des additifs est à relier directement à des contraintes de transformation. Il y a d'ailleurs à ce titre certains additifs indispensables (e.g., sels de fonte pour les fromages fondus) qui figurent dans le barème dans les opérations chimiques. L'idée initiale d'avoir deux sous scores du Process-Score — un en lien avec la transformation (i.e., opérations unitaires) et un en lien avec les additifs — pourrait être reprise, avec un équilibrage à trouver pour calculer un Process-Score global.

Plus généralement, les ingrédients techniques non quantifiés — généralement très transformés, mais présents en faible quantité — pourraient être pris en compte différemment. En effet, leurs faibles quantités impliquent une faible répercussion sur le Process-Score du produit de par la pondération par la masse.

Concernant les notes octroyées pour chaque opération unitaire (**Tableau 7**), une rationalisation plus automatique selon l'énergie thermomécanique mise en place pourrait être imaginée. Cependant, des problématiques telles que les rendements (i.e., considérer l'énergie déployée, celle réellement « transmise » à l'aliment) seraient à prendre en compte.

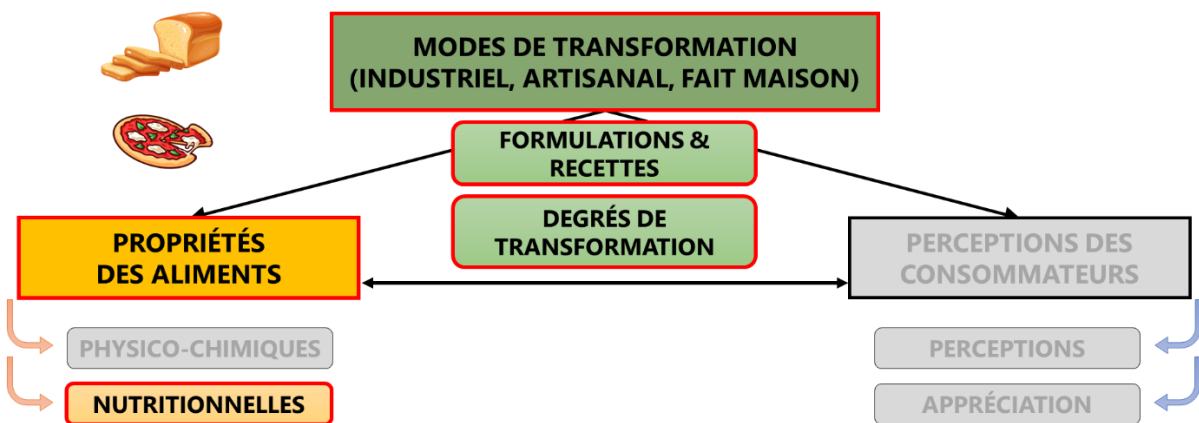
Une connaissance plus précise des diagrammes de fabrication serait souhaitable afin d'affiner les diagrammes génériques utilisés. Néanmoins dans la pratique, cela reste fortement compromis car cela reposerait sur une coopération avec les industriels et donc des craintes de ces derniers en termes de confidentialité de leur process.

Finalement, pour aller plus loin, il serait intéressant de prendre en compte la catégorie de produit, afin de différencier la note des opérations unitaires selon la catégorie de produit, en lien avec l'impact de cette opération (e.g., découpe d'une pizza *versus* découpe d'une tomate).

Cette première section du chapitre 2 a permis de présenter et développer en détails la méthodologie du Process-Score, qui était un prérequis méthodologique pour caractériser le degré de transformation des aliments, en écho à la question de recherche Q2.

Pour initier les chapitres de résultats, une cartographie des pizzas et pains de mie industriels est proposée en section 2.2 afin de décrire la variabilité de ces espaces produits existant sur le marché français sur des critères de formulation, composition nutritionnelle et transformation, afin de couvrir les enjeux présentés en **Figure 27c**.

### COMPRENDRE LES LIENS ENTRE PROPRIÉTÉS, PERCEPTIONS ET MODES DE TRANSFORMATION ?



**Figure 27c.** Démarche abordée dans la section 2.2 pour répondre aux questions de recherche.

## 2.2 CARTOGRAPHIES DE PRODUITS INDUSTRIELS

Ce chapitre est un draft d'article.

### Multicriteria mapping of industrial soft breads and pizzas to highlight the links between food processing, nutrition and formulation

**Bastien Maurice<sup>1</sup>, Anne Saint-Eve<sup>1</sup>, Aurélia Pernin<sup>1</sup>, Hélène Bidault<sup>1</sup>, Pascal Leroy<sup>2</sup> and Isabelle Souchon<sup>3,\*</sup>**

<sup>1</sup> Univ Paris-Saclay, UMR SayFood, AgroParisTech, INRAE, F-78850 Thiverval-Grignon, France

<sup>2</sup> Univ Paris-Saclay, UR ALISS, INRAE, F-94205 Ivry-sur-Seine, France

<sup>3</sup> Avignon Univ, UMR SQPOV, INRAE, F-84000 Avignon, France

\* Corresponding author: isabelle.souchon@inrae.fr

### Highlights

- 380 pizzas and 282 soft breads (including 107 plain) were analyzed.
- Pizzas contained 0 to 19 additives, while soft breads contained 0 to 11.
- Pizzas covered Nutri-Scores from A to E (46% C), while soft breads went from A to D (43% B).
- A Process-Score was used to characterize the processing degree of products independently of food additive addition.
- For both food categories, the more the products were processed, the worse the nutritional score was.

### Abstract

Industrial foods are more and more criticized, even though their convenience tend to make them inevitable. To implement recommendations, it seems necessary to better understand the links between food processing, formulation and nutritional quality.

To this end, this work aimed to characterize on multi-criteria variables two different food groups, widely consumed: soft breads and pizzas. 282 soft breads and 380 pizzas, representative of the French market were analyzed, with a focus on the 107 plain soft breads. The multi-criteria variables were based on product recipe data (number and the quantity of ingredients and number of additives and their function), nutritional composition data, price, and processing degree of the products. In order to describe the food processing degree on a continuous scale, to gain precision in comparison to existing classifications, a Process-Score was developed to reflect the intensity of the transformations undergone from the raw materials to the final product, and calculated for all the products. Results showed a large intra-category variability for these two products. For example, some differences were highlighted on nutritional variables, but also on Process-Scores or prices between organic and non-organic breads, with or

without crust, and within the soft bread types (e.g., plain, gluten-free, whole wheat) and pizza types (e.g., margherita, seafood, ham-and-cheese). Even within the plain soft breads, differences were highlighted: organic plain soft breads were richer in energy, fats, saturated fatty acids, fibers, salt, with less ingredients and additives than non-organic breads. The Process-Score appeared to be correlated to the Nutri-Score and to the saturated fatty acids content for both products.

Ultimately, these results would document the variability of several industrial food groups, to give leads to the food industry for reshaping their products to make them healthier and assist public health authorities in making recommendations.

**Keywords:** health; additives; ultra-processed food; sandwich bread; Process-Score

### 2.2.1 Introduction

Industrial foods are increasingly consumed and represent a significant proportion of the diets of adults and children (50 and 70% respectively in France, expressed as a mass fraction) (ANSES, 2017b).

These industrial foods appeared to be mostly ultra-processed foods, often associated with poor nutritional quality and the use of numerous additives (Moubarac et al., 2013; Davidou et al., 2021). To tackle this issue, public authorities such as the ANSES prospected the influence of food reformulation on alternative scenario, with slight to more drastic reformulations on the sugar, saturated fatty acids, salt and fiber contents (ANSES, 2021).

Beyond the common nutritional characterization, recent literature highlighted the importance of considering both the nutritional aspects and the processing aspects (Aguilera, 2019). The transformation degree of food products is mostly evaluated with classification schemes, such as NOVA (C. A. Monteiro et al., 2016). However, the latter have often been criticized because they integrate multiple dimensions linked to the processing and formulation (Sadler et al., 2021), and because they suffer from a lack of robustness (Braesco et al., 2022; Petrus et al., 2021). To better distinguish between effects related to processing (i.e., unit operations) and those related to formulation (i.e., recipe and food additives), the Process-Score was developed in order to reflect the unit operations undergone by the product during its production (Maurice, Saint-Eve, et al., 2022).

Particularly in food epidemiology, longitudinal studies are often made considering generic products for food categories (i.e., bread, whole wheat bread), without always being able to distinguish the recipe or the brand of consumed foods. But there might be a pronounced diversity within the same category of products, and therefore differences. The objective was here to use a multi-criteria approach to depict such a diversity.

To implement recommendations to consumers, but also to industries and public authorities, it seems necessary to better understand the links between food processing, formulation and nutritional quality for processed foods. In this context, we sought to characterize diversity within different categories of processed foods, through their processing degree and their nutritional qualities. Soft breads and pizzas were chosen, as mass-marketed products which are widely consumed. Soft breads represented a rather “simple food model”, with less variation in their composition than the pizzas being a more “complex model”, offering a great variability in composition and numerous levers for food reformulation.

## 2.2.2 Materials and methods

### 2.2.2.1 Data collection of the products for each product category

We used and searched the Open Food Facts database (<https://fr.openfoodfacts.org>, accessed on April 2021) for all items corresponding to industrially prepared soft bread in France. After excluding the incomplete entries and the duplicates, 282 distinct products were identified from this search, including 107 plain soft breads (gluten-free and toasts excluded). Prices (normalized in  $\text{€}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) were estimated based on prices posted on the online market in April 2021.

380 pizzas representative of the French market (sold in medium and large supermarkets and frozen food stores) were extracted from the French Food Quality Observatory (Oqali) database ([https://www.oqali.fr/oqali\\_eng](https://www.oqali.fr/oqali_eng)). The prices were averaged based on several Oqali price reports.

### 2.2.2.2 Recipe information and calculation of the missing proportions

All the available information from the recipes was collected (i.e., list of ingredients and quantities if mentioned). Every item on the labeled recipe was counted as an ingredient, including the additives. For example, “dough (flour, water, yeast, salt, E300)” counted for 6 ingredients. Additives were also counted separately, labeled with either their common names (e.g., ascorbic acid) or E numbers (e.g., E300). They were also categorized by their main function (e.g., texturizer, colorant, preservative).

Missing proportions of ingredients in the recipe were determined using Anatole<sup>®</sup> software (Leroy et al., 2022), which analyzes the mass balances of different nutrients using the recipe and nutritional values on the label, in light of labeling regulations.

For the pizzas, the topping/dough ratio was calculated (in weight/weight).

### 2.2.2.3 Nutritional values and calculation of the Nutri-Score

The nutritional values (per 100 g: energy density, total carbohydrates, sugars, dietary fibers, proteins, total fats, saturated fatty acids, and salt) were reported from

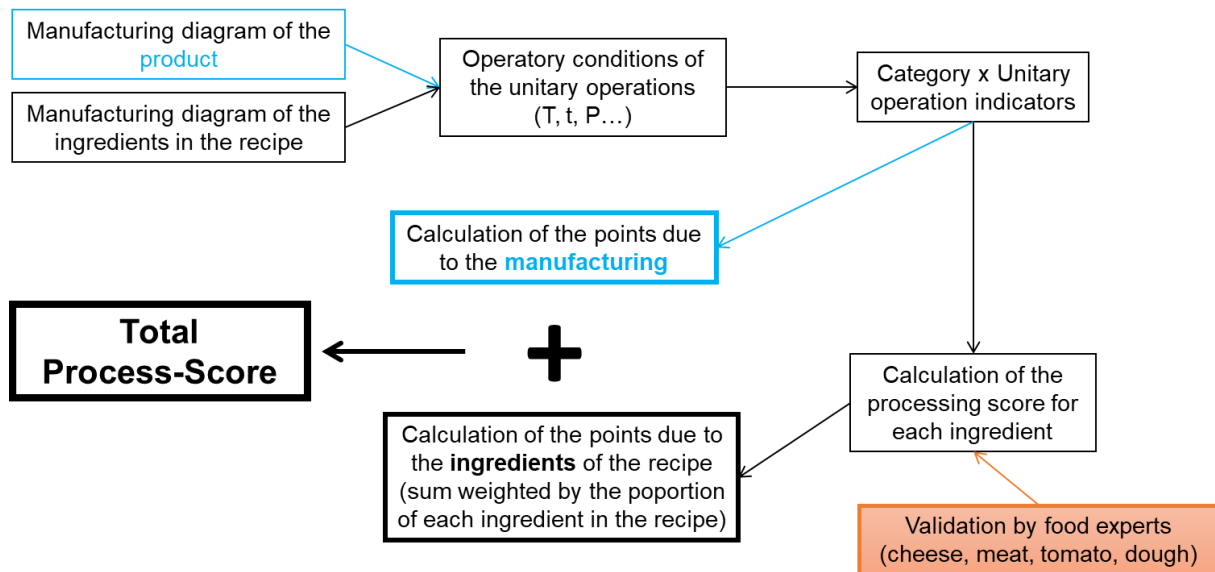
the nutritional labelling on the packaging (mandatory since 2014 in France).

To add a synthetic indicator of the nutritional quality, Rayner's score (from -15, the best, to 40, the worst) and the Nutri-Score (from A, the best, to E, the worst) were calculated as described by the French Public Health Agency ([Santé Publique France, 2020](#)).

#### *2.2.2.4 Evaluation of the processing degree*

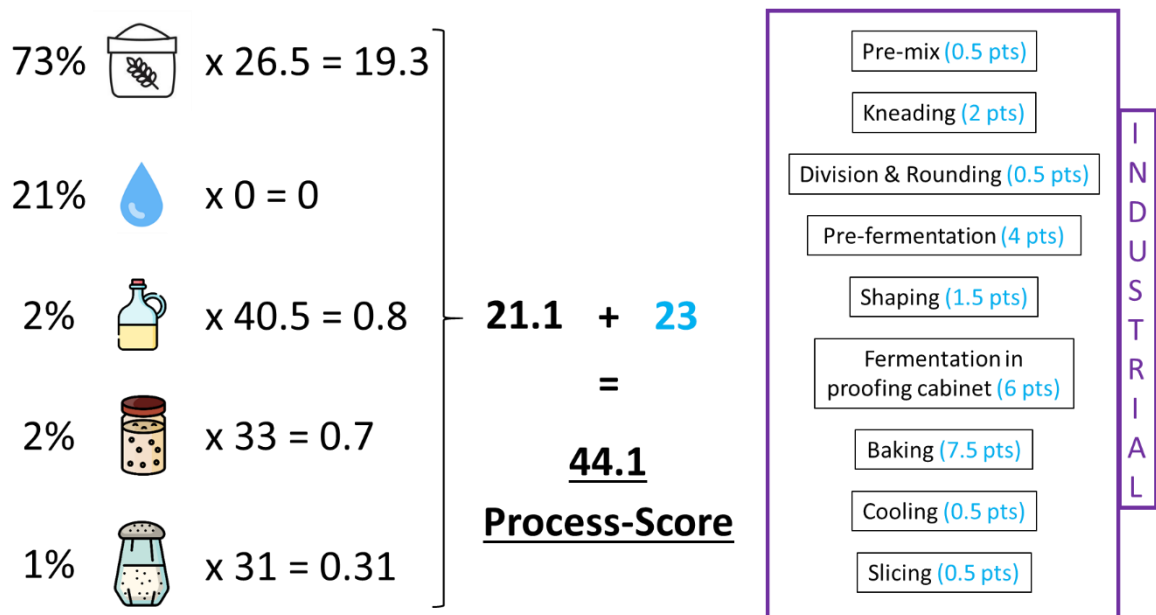
The processing degree was first evaluated using the NOVA classification and its four processing categories (i.e., NOVA1: unprocessed or minimally processed foods; NOVA2: processed culinary ingredients; NOVA3: processed foods; NOVA4: ultra-processed foods) ([C. A. Monteiro et al., 2016](#)).

Then, to dissociate the effects of formulation from those of food processing as suggested by the literature ([Botelho et al., 2018](#)), and to better account for the degree of transformation of each product, we developed a new indicator "Process-Score", using an algorithm based on processing diagrams and recipes. Each unit operation of the processing diagram was associated with a score that reflects the time and intensity of the process and its impact (chemical, physical, or biological) on the food product: the more extreme the process conditions (e.g., temperature, pressure, time), the higher the impact and thus the higher the score. Sixty-two unit operations were gathered into 11 categories, with scores between 0.5 and 3 depending on the chemical, physical or biological modifications defined for categories and unit operations within each category (**Supplementary Table 1**). Then, the multiplication of both the unitary operation score and the category score, allowed to determine the final score for the unit operation. In this way, a Process-Score was calculated for each ingredient according to the unit operations in its processing diagram. Then, the final Process-Score for each pizza and plain soft bread was calculated, according to its ingredients and manufacturing operations (**Figure 36**). An example of a production diagram and calculation of the Process-Score for a soft bread is shown in **Figure 37**.



**Figure 36.** Method for calculating the Process-Score.

Recipe: 73% flour, 21% water, 2% canola oil, 2% yeast, 1% salt



**Figure 37.** Example of the calculation of the Process-Score for a generic soft bread, according to its recipe and listing the general unit operations.

### 2.2.2.5 Statistical analysis

Statistical analysis was performed with XLSTAT software, v2016.1.1 (Addinsoft, Bordeaux, France). All statistical tests were performed with a cut-off at P = 0.05.

The normality of the variables described in the **Table 9** & **Table 12** was tested with a Shapiro-Wilk test, and homoscedasticity was tested using Levene's test. Therefore, a Kruskal-Wallis test was used within each product category, followed by a post hoc Conover-Iman test with Bonferroni correction applied for multiple comparisons.



Spearman's  $r$  correlation coefficients were used to evaluate correlations between the variables ( $r = -1$  for a perfect anticorrelation,  $r = 1$  for a perfect correlation and  $r = 0$  for no correlation at all) (**Table 10**).

A correlation matrix Principal Component Analysis was performed using Spearman correlations and visualized as a distance biplot based on 2 composition variables, 8 nutritional and Process-Scores to evaluate the diversity of each data set. Combined variables (e.g., energy density as the linear combination of the macronutrients contents) were removed from the analysis, and displayed as supplementary variables. If a value was missing, it was replaced by the mean value of the variable.

### 2.2.3 Results

The results are first presented for the industrial soft breads, and then for the industrial pizzas.

#### 2.2.3.1 Industrial soft breads

##### 2.2.3.1.1 Description of the industrial soft breads

Of the 280 studied soft breads, 42.9% were private labels, 41.1% were national brands, 12.4% were hard discount and 3.5% were international brands. Eight different categories were highlighted: plain (38.7%), whole wheat (23.0%), cereals (13.5%), toasts (9.2%), gluten-free plain (7.1%), others (3.9%, e.g., rye, spelt, with fruits), gluten-free cereals (2.5%) and brioche (2.1%). 17.7% of them were organic and 14.2% were without crust.

The industrial soft breads contained from 8 to 32 ingredients, with an average of  $14.6 \pm 4.4$  (mean  $\pm$  standard deviation). The plain soft breads were the ones with the simplest recipes, while the organic breads also contained less ingredients and additives than the conventional breads (**Table 9**). For the additives, it went from 0 to 11, with an average of  $2.9 \pm 2.2$ . They were mostly texture agents (51%, e.g., E482: calcium stearoyl-2-lactylate), antioxidants (28%, e.g., E300 ascorbic acid) and preservatives (20%, e.g., E280 propionic acid). It appeared that breads with crust contained less additives than breads without crust (**Table 9**).

**Table 9.** Comparison of the 282 soft breads with respect to the different studied variables, analyzed according to the soft bread type and whether it is organic or not, with a Kruskal–Wallis test.

*Statistical groups—determined by the Conover–Iman post hoc test—are indicated by letters in ascending order (i.e., B > A). Groups with the same letter are not statistically different.*

	ORGANIC			CRUST			SOFT BREAD TYPE								
	P value	Yes	No	P value	With	With-out	P value	Plain	Whole wheat	Cereals	Toasts	Gluten-free plain	Gluten-free cereals	Brioche	Others
n =	282	50	232	282	242	40	282	109	65	38	26	20	7	6	11
Energy	< 0.0001	B	A	< 0.0001	B	A	< 0.0001	B	A	B	B	A	A	B	B
Fats	< 0.0001	B	A	< 0.0001	B	A	< 0.0001	A	A	B	B	B	B	B	AB
SFA	0.6875			< 0.0001	B	A	< 0.0001	A	A	B	B	B	B	B	AB
Carbohydrates	< 0.0001	B	A	0.0015	B	A	< 0.0001	B	A	A	B	A	A	B	A
Sugars	0.5915			< 0.0001	A	B	< 0.0001	BC	AB	A	BC	AB	AB	C	AB
Fibers	0.5335			0.1790			< 0.0001	AB	C	C	B	C	C	A	C
Proteins	0.2273			0.5364			< 0.0001	B	C	C	B	A	A	BC	C
Salt	0.0002	B	A	0.0002	B	A	0.0483	A	A	A	A	A	A	A	A
Rayner	0.0077	B	A	0.0947			< 0.0001	B	A	A	B	B	AB	B	A
Nutri-Score	0.0003	B	A	0.1316			< 0.0001	B	A	A	B	B	AB	B	A
Ingredients	< 0.0001	A	B	0.5526			< 0.0001	A	B	B	B	B	B	AB	B
Additives	< 0.0001	A	B	0.0131	A	B	0.0061	A	A	A	A	A	A	A	A
NOVA	0.1891			0.7074			0.7557								
Price	< 0.0001	B	A	0.9108			< 0.0001	A	AB	ABC	BC	D	D	ABC	CD

**Table 10.** Spearman’s correlation coefficients between the 16 studied variables, for the 380 pizzas and the 282 soft breads. Coefficients are in **bold** when they are statistically significant ( $P \leq 0.05$ ).

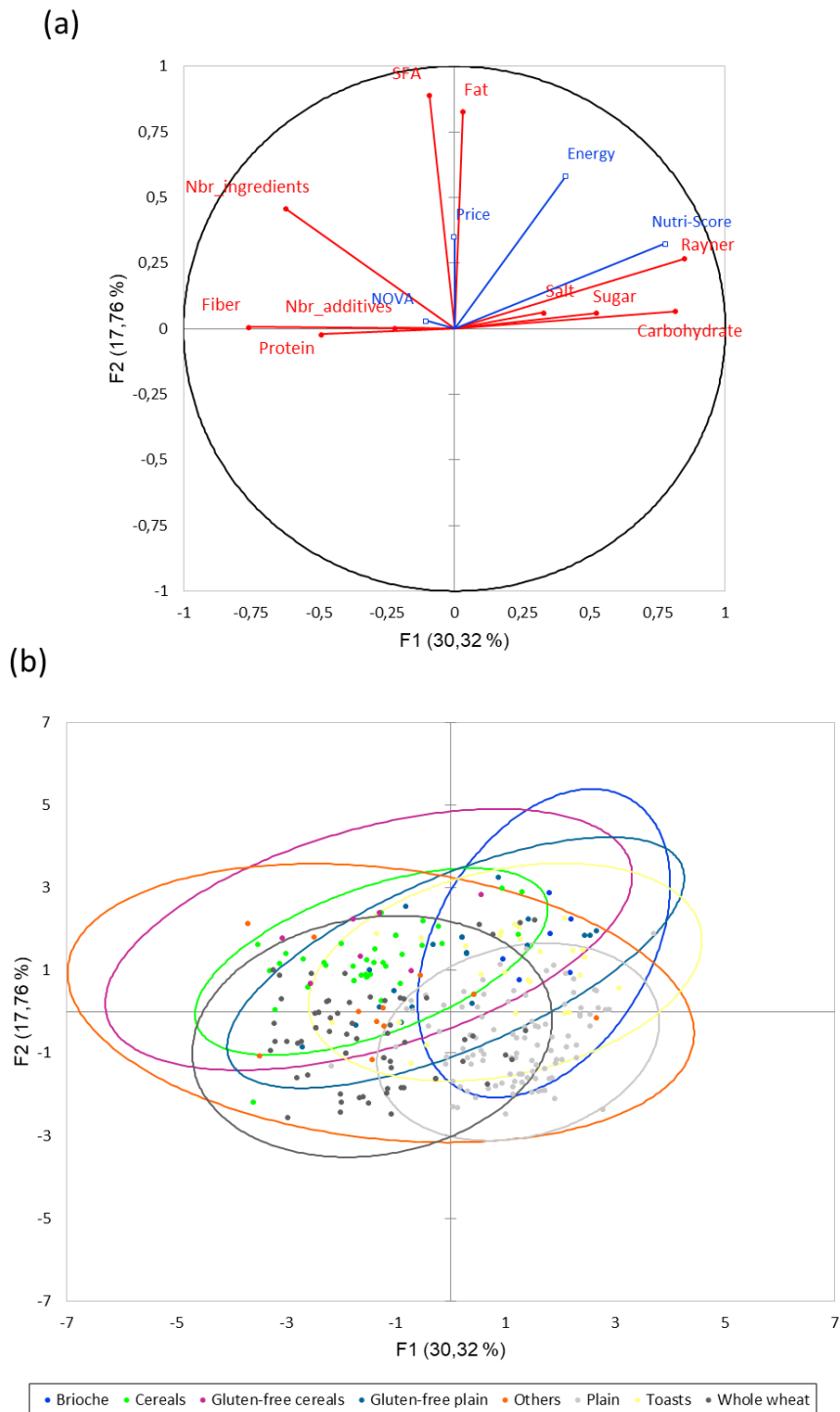
Variables	Energy		Fat		SFA		Carbohydrate		Sugar		Fiber		Protein		Salt	
	Pizza	Bread	Pizza	Bread	Pizza	Bread	Pizza	Bread	Pizza	Bread	Pizza	Bread	Pizza	Bread	Pizza	Bread
<b>Energy</b>	<b>1.00</b>	<b>1.00</b>	<b>0.87</b>	<b>0.75</b>	<b>0.69</b>	<b>0.35</b>	<b>0.26</b>	<b>0.63</b>	<b>-0.20</b>	<b>0.24</b>	<b>-0.39</b>	<b>-0.30</b>	<b>0.51</b>	<b>0.13</b>	<b>0.26</b>	0.11
<b>Fat</b>	<b>0.87</b>	<b>0.75</b>	<b>1.00</b>	<b>1.00</b>	<b>0.74</b>	<b>0.58</b>	<b>-0.15</b>	0.11	<b>-0.22</b>	0.03	<b>-0.38</b>	0.08	<b>0.42</b>	0.03	0.10	0.00
<b>SFA</b>	<b>0.69</b>	<b>0.35</b>	<b>0.74</b>	<b>0.58</b>	<b>1.00</b>	<b>1.00</b>	-0.10	-0.05	<b>-0.37</b>	0.01	<b>-0.42</b>	0.08	<b>0.57</b>	0.03	<b>0.15</b>	-0.02
<b>Carbohydrate</b>	<b>0.26</b>	<b>0.63</b>	<b>-0.15</b>	0.11	-0.10	-0.05	<b>1.00</b>	<b>1.00</b>	<b>0.17</b>	<b>0.39</b>	-0.04	<b>-0.62</b>	<b>-0.10</b>	<b>-0.20</b>	<b>0.24</b>	<b>0.23</b>
<b>Sugar</b>	<b>-0.20</b>	<b>0.24</b>	<b>-0.22</b>	0.03	<b>-0.37</b>	0.01	<b>0.17</b>	<b>0.39</b>	<b>1.00</b>	<b>1.00</b>	<b>0.40</b>	<b>-0.36</b>	<b>-0.47</b>	<b>-0.17</b>	<b>-0.19</b>	<b>-0.15</b>
<b>Fiber</b>	<b>-0.39</b>	<b>-0.30</b>	<b>-0.38</b>	0.08	<b>-0.42</b>	0.08	-0.04	<b>-0.62</b>	<b>0.40</b>	<b>-0.36</b>	<b>1.00</b>	<b>1.00</b>	<b>-0.38</b>	<b>0.22</b>	<b>-0.27</b>	-0.08
<b>Protein</b>	<b>0.51</b>	<b>0.13</b>	<b>0.42</b>	0.03	<b>0.57</b>	0.03	<b>-0.10</b>	<b>-0.20</b>	<b>-0.47</b>	<b>-0.17</b>	<b>-0.38</b>	<b>0.22</b>	<b>1.00</b>	<b>1.00</b>	<b>0.33</b>	<b>-0.17</b>
<b>Salt</b>	<b>0.26</b>	0.11	0.10	0.00	<b>0.15</b>	-0.02	<b>0.24</b>	<b>0.23</b>	<b>-0.19</b>	<b>-0.15</b>	<b>-0.27</b>	-0.08	<b>0.33</b>	<b>-0.17</b>	<b>1.00</b>	<b>1.00</b>
<b>Rayner</b>	<b>0.71</b>	<b>0.37</b>	<b>0.65</b>	<b>0.16</b>	<b>0.79</b>	<b>0.21</b>	<b>0.14</b>	<b>0.66</b>	<b>-0.32</b>	<b>0.40</b>	<b>-0.47</b>	<b>-0.62</b>	<b>0.56</b>	<b>-0.50</b>	<b>0.52</b>	<b>0.45</b>
<b>Nutri-Score</b>	<b>0.69</b>	<b>0.39</b>	<b>0.62</b>	<b>0.20</b>	<b>0.74</b>	<b>0.23</b>	<b>0.13</b>	<b>0.63</b>	<b>-0.36</b>	<b>0.40</b>	<b>-0.51</b>	<b>-0.58</b>	<b>0.56</b>	<b>-0.47</b>	<b>0.57</b>	<b>0.40</b>
<b>Nbr_ingredients</b>	0.08	-0.09	0.00	<b>0.18</b>	-0.03	<b>0.38</b>	<b>0.24</b>	<b>-0.43</b>	-0.02	<b>-0.24</b>	<b>-0.32</b>	<b>0.39</b>	0.01	<b>0.22</b>	<b>0.37</b>	<b>-0.12</b>
<b>Nbr_additives</b>	0.05	<b>-0.35</b>	-0.09	<b>-0.29</b>	-0.04	0.04	<b>0.33</b>	<b>-0.18</b>	-0.07	0.00	<b>-0.20</b>	0.03	0.02	<b>-0.14</b>	<b>0.45</b>	-0.03
<b>Process-Score</b>	<b>0.49</b>	0.10	<b>0.34</b>	<b>0.38</b>	<b>0.45</b>	<b>0.21</b>	<b>0.27</b>	0.05	-0.06	0.08	<b>-0.21</b>	<b>0.40</b>	<b>0.39</b>	<b>-0.37</b>	<b>0.46</b>	0.02
<b>NOVA</b>	0.00	-0.04	0.00	-0.01	-0.01	-0.01	0.01	-0.05	-0.03	-0.06	<b>-0.14</b>	0.02	-0.05	0.11	0.07	0.03
<b>Price</b>	<b>0.29</b>	<b>0.25</b>	<b>0.27</b>	<b>0.46</b>	<b>0.33</b>	<b>0.32</b>	-0.02	0.02	<b>-0.26</b>	0.00	<b>-0.27</b>	<b>0.17</b>	<b>0.41</b>	<b>-0.23</b>	<b>0.23</b>	-0.03
<b>Topping/Dough</b>	-0.01		<b>0.14</b>		<b>0.26</b>		<b>-0.31</b>		<b>-0.44</b>		<b>-0.50</b>		<b>0.18</b>		0.06	

Variables	Rayner		Nutri-Score		Nbr_ingredients		Nbr_additives		Process-Score		NOVA		Price		Topping/Dough	
	Pizza	Bread	Pizza	Bread	Pizza	Bread	Pizza	Bread	Pizza	Bread	Pizza	Bread	Pizza	Bread	Pizza	Bread
Energy	0.71	0.37	0.69	0.39	0.08	-0.09	0.05	-0.35	0.49	0.10	0.00	-0.04	0.29	0.25	-0.01	
Fat	0.65	0.16	0.62	0.20	0.00	0.18	-0.09	-0.29	0.34	0.38	0.00	-0.01	0.27	0.46	0.14	
SFA	0.79	0.21	0.74	0.23	-0.03	0.38	-0.04	0.04	0.45	0.21	-0.01	-0.01	0.33	0.32	0.26	
Carbohydrate	0.14	0.66	0.13	0.63	0.24	-0.43	0.33	-0.18	0.27	0.05	0.01	-0.05	-0.02	0.02	-0.31	
Sugar	-0.32	0.40	-0.36	0.40	-0.02	-0.24	-0.07	0.00	-0.06	0.08	-0.03	-0.06	-0.26	0.00	-0.44	
Fiber	-0.47	-0.62	-0.51	-0.58	-0.32	0.39	-0.20	0.03	-0.21	0.40	-0.14	0.02	-0.27	0.17	-0.50	
Protein	0.56	-0.50	0.56	-0.47	0.01	0.22	0.02	-0.14	0.39	-0.37	-0.05	0.11	0.41	-0.23	0.18	
Salt	0.52	0.45	0.57	0.40	0.37	-0.12	0.45	-0.03	0.46	0.02	0.07	0.03	0.23	-0.03	0.06	
Rayner	1.00	1.00	0.85	0.94	0.12	-0.29	0.15	-0.01	0.56	0.29	-0.01	-0.02	0.30	0.11	0.16	
Nutri-Score	0.85	0.94	1.00	1.00	0.18	-0.28	0.19	-0.03	0.55	0.27	0.05	0.00	0.30	0.15	0.21	
Nbr_ingredients	0.12	-0.29	0.18	-0.28	1.00	1.00	0.78	0.48	0.10	0.11	0.43	0.18	0.15	0.11	0.24	
Nbr_additives	0.15	-0.01	0.19	-0.03	0.78	0.48	1.00	1.00	0.19	-0.01	0.41	0.17	0.12	-0.23	0.14	
Process-Score	0.56	0.29	0.55	0.27	0.10	0.11	0.19	-0.01	1.00	1.00	-0.01	-0.06	0.13	0.42	-0.12	
NOVA	-0.01	-0.02	0.05	0.00	0.43	0.18	0.41	0.17	-0.01	-0.06	1.00	1.00	0.08	-0.09	0.12	
Price	0.30	0.11	0.30	0.15	0.15	0.11	0.12	-0.23	0.13	0.42	0.08	-0.09	1.00	1.00	0.05	
Topping/Dough	0.16		0.21		0.24		0.14		-0.12		0.12		0.05		1.00	

Overall, 36% of the soft breads had a Nutri-Score A, 43% B, 20% C and 1% D. The nutritional differences between the different soft bread types are shown in **Table 9**. The whole wheat and cereal breads were the most nutritionally favorable (**Table 9**). The organic breads appeared to be richer in fat, carbohydrates and salt, and with a lesser nutritional quality compared to the conventional breads (**Table 9**). Breads without crust had less saturated fatty acids, carbohydrates and salt but more sugar than breads with crust (**Table 9**).

The most expensive were the gluten-free (both plain and with cereals), while the plain and whole wheat breads were the cheapest (**Table 9**). Organic soft breads also appeared to be more expensive than conventional breads.

The **Figure 38** sums up the correlations between all the variables (**Figure 38a**). All correlation coefficients are given in **Table 10**. In particular, it appeared that the higher the carbohydrate content, the worse the Nutri-Score ( $r = 0.63$ , **Table 10**). The NOVA classification only appeared correlated to the number of ingredients ( $r = 0.18$ ) and additives ( $r = 0.17$ ) (**Table 10**). The Process-Score was anticorrelated to the protein content ( $r = -0.37$ ) and correlated to the price ( $r = 0.42$ ) and fat content ( $r = 0.38$ ) (**Table 10**). It also describes how the different soft bread types overlap (**Figure 38b**). This highlights the great variability of products even within a sub-category, as seen in **Table 9** (e.g., the plain soft breads with the least fats but the most carbohydrates).



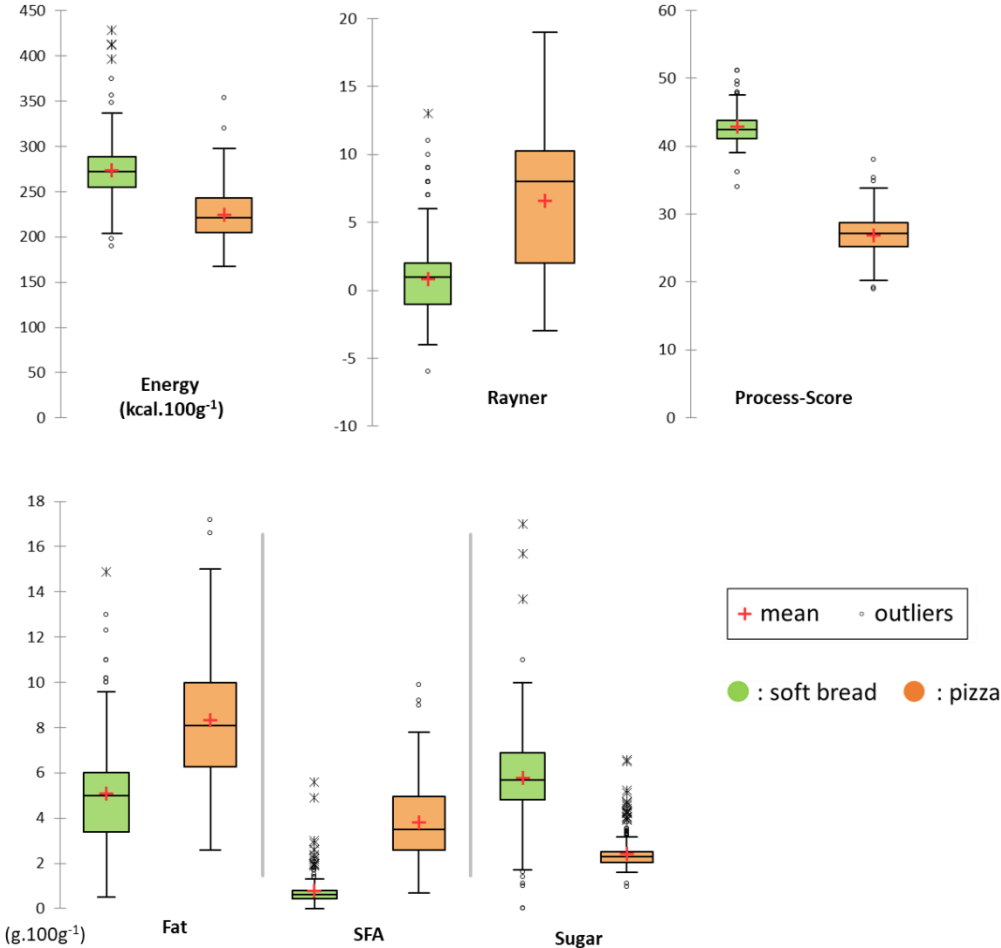
**Figure 38.** (a) Representation of the correlations among the different variables for the 282 soft breads through a Principal Component Analysis (F1 + F2 = 48.08%). (b) Biplot of the 282 soft breads, displayed by type, with 95% confidence ellipses. Active variables are in red, supplementary variables are in blue.

A focus was made on the plain soft breads as they are the most commonly consumed, and the most represented in our dataset.

2.2.3.1.2 Focus on the plain soft breads

Of the 107 plain soft breads, 50.5% were private labels, 25.2% were national brands, 20.6% were hard discount and 3.7% were international brands. 20.6% of them were organic, and 21.5% were without crust.

The industrial plain soft breads contained from 8 to 19 ingredients, with an average of  $11.9 \pm 2.4$  (mean  $\pm$  standard deviation). For the additives, it went from 0 to 7, with an average of  $2.7 \pm 2.2$  and similar functions as seen for all soft breads together. The Process-Scores went from 34.0 to 47.7, with an average of  $42.1 \pm 1.7$  (**Figure 39**). The variability was generated by the Process-Scores of the recipe’s ingredients, as a Process-Score of 23 was counted for the soft bread processing steps for all (**Figure 37**).



**Figure 39.** Nutritional characteristics and Process-Scores for the soft breads (n = 282) and pizzas (n = 380). Data are represented by boxplots (1<sup>st</sup> & 3<sup>rd</sup> quartiles, median  $\pm$  1.5 x interquartile range for the whiskers)



There was also a variability in the nutritional properties, with levels of fat from 1.4 to 12.3 g.100 g<sup>-1</sup> (4.0 ± 1.5 on average), carbohydrates from 34.0 to 58.0 g.100 g<sup>-1</sup> (49.2 ± 2.8 on average), proteins from 5.9 to 9.8 g.100 g<sup>-1</sup> (8.0 ± 0.7 on average), fibers from 1.9 to 5.0 (3.1 ± 0.6 on average), sugar from 2.7 to 13.7 g.100 g<sup>-1</sup> (6.2 ± 1.5 on average), salt from 0.0 to 1.8 g.100 g<sup>-1</sup> (1.2 ± 0.2 on average) (**Figure 39**). Therefore, the energy densities went from 190 to 357 kcal.100 g<sup>-1</sup> (270.5 ± 20.9 on average) (**Figure 39**). Overall, 8% of the plain breads were Nutri-Score A, 69% Nutri-Score B and 24% Nutri-Score C. For the prices, it went from 1.2 to 12.5 €.kg<sup>-1</sup> (3.2 ± 2.2 on average).

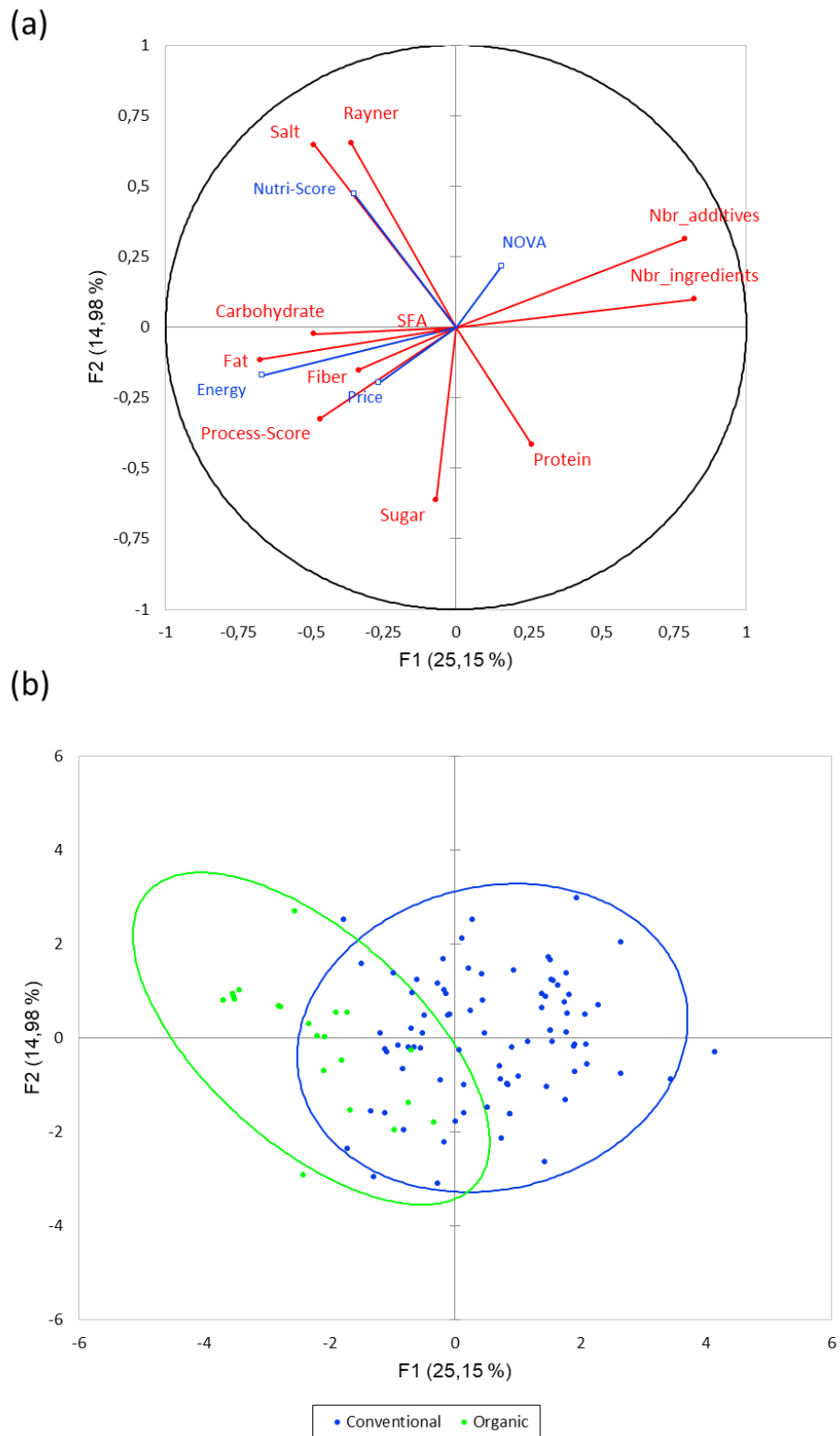
The differences between organic and conventional soft breads were similar for the plain soft breads (**Table 10**) and all the soft breads (**Table 9**). The same was observed while comparing breads with or without crust (**Table 9** & **Table 11**).

**Table 11.** Comparison of the 107 plain soft breads with respect to the different studied variables, analyzed according to the presence of crust and whether it is organic or not, with a Kruskal–Wallis test.

*Statistical groups—determined by the Conover–Iman post hoc test—are indicated by letters in ascending order (i.e., B > A). Groups with the same letter are not statistically different.*

	ORGANIC			CRUST		
	P value	Yes	No	P value	With	Without
n =	107	22	85	107	85	22
Energy	< 0.0001	B	A	< 0.0001	B	A
Fats	< 0.0001	B	A	0.0023	B	A
SFA	0.0317	B	A	0.0259	B	A
Carbohydrates	0.0002	B	A	0.0003	B	A
Sugars	0.8485			< 0.0001	A	B
Fibers	0.0174	B	A	0.2257		
Proteins	0.0573			0.3873		
Salt	0.0004	B	A	0.0003	B	A
Rayner	0.0993			0.3356		
Nutri-Score	0.0112	B	A	0.3217		
Ingredients	< 0.0001	A	B	0.0130	A	B
Additives	< 0.0001	A	B	0.0165	A	B
Process-Score	0.2771			0.8171		
NOVA	0.8236			0.8236		
Price	< 0.0001	B	A	0.1058		

**Figure 40** also summarizes the correlations between all the variables (**Figure 40a**), and highlights the variability of products even within the group of plain soft breads (**Figure 40b**). The correlations between the variables are similar to those described for all the soft breads (**Table 10**). In particular, the number of additives appeared highly correlated to the number of ingredients (r = 0.81).



**Figure 40.** (a) Representation of the correlations among the different variables for the 107 plain soft breads through a Principal Component Analysis (F1 + F2 = 40.13%). *Active variables are in red, supplementary variables are in blue.* (b) Biplot of the 107 soft breads, displayed for organic and conventional, with 95% confidence ellipses.

### 2.2.3.2 Industrial pizzas

Of the 380 pizzas studied, 49.7% were private labels, 22.6% were national brands, 14.7% were specialty retailers and 12.9% were hard discount. They were divided into two main categories according to their storage: frozen (58.9%) and fresh (41.1%). Eight different types of pizza recipes (e.g., seafood pizza, ham-and-cheese pizza) were also highlighted.

#### 2.2.3.2.1 Recipes and degree of transformation

The industrial pizzas contained from 14 to 89 ingredients, with an average of  $39.1 \pm 13.3$  (mean  $\pm$  standard deviation). For the additives, it went from 0 to 19, with an average of  $4.3 \pm 4.0$ . In details, fresh pizzas had more ingredients and additives than the frozen pizzas (**Table 12**,  $P < 0.0001$ ).

According to the NOVA classification, 7.4% of the pizzas were NOVA3 (i.e., processed foods) while 92.6% were NOVA4 (i.e., ultra-processed foods). Fresh pizzas were more likely to be ultra-processed compared to the frozen ones (**Table 12**,  $P < 0.0001$ ).

The Process-Scores ranged from 19 to 38, with an average of  $26.8 \pm 2.8$ . In agreement with the NOVA score, fresh pizzas had a significantly higher Process-Score ( $28.1 \pm 2.4$  on average) than frozen pizzas ( $25.9 \pm 2.6$  on average) (**Table 12**,  $P < 0.0001$ ).

Ham-and-cheese, delicatessen and meat pizzas were the ones with significantly more ingredients and additives, and also the most likely to be ultra-processed according to the NOVA classification (**Table 12**,  $P < 0.0001$ ). However, the cheese pizzas had the higher Process-Scores, ahead of the ham-and-cheese and delicatessen pizzas, while the meat and Bolognese pizzas had the lowest Process-Scores (**Table 12**).

**Table 12.** Comparison of the 380 pizzas with respect to the different studied variables, analyzed according to the storage type and the pizza recipe with a Kruskal–Wallis test.

*Statistical groups—determined by the Conover–Iman post hoc test—are indicated by letters in ascending order (i.e., B > A). Groups with the same letter are not statistically different.*

	PIZZA STORAGE			PIZZA TYPE								
	P value	Fresh	Frozen	P value	Cheese	Ham&Cheese	Delicatessen	Meat	Bolognese	Margherita	Seafood	Veggie
n =	380	156	224	380	86	122	74	25	21	18	17	17
Energy	< 0.0001	B	A	< 0.0001	B	A	B	A	A	A	A	A
Fats	0.1167			< 0.0001	C	A	C	AB	AB	AB	B	AB
SFA	< 0.0001	B	A	< 0.0001	C	AB	C	B	AB	AB	AB	AB
Carbohydrates	< 0.0001	B	A	0.0003	ABC	BC	ABC	BC	ABC	C	A	AB
Sugars	< 0.0001	A	B	0.0002	AB	A	A	AB	B	B	A	AB
Fibers	< 0.0001	A	B	< 0.0001	AB	BC	A	AB	ABC	C	ABC	C
Proteins	< 0.0001	B	A	< 0.0001	C	B	C	B	AB	AB	BC	A
Salt	< 0.0001	B	A	< 0.0001	BC	CD	D	AB	AB	AB	AB	A
Rayner	< 0.0001	B	A	< 0.0001	B	A	B	A	A	A	A	A
Nutri-Score	< 0.0001	B	A	< 0.0001	C	B	C	B	A	AB	AB	AB
Ingredients	< 0.0001	B	A	< 0.0001	AB	C	C	C	BC	A	AB	AB
Additives	< 0.0001	B	A	< 0.0001	BC	D	D	CD	AB	AB	A	AB
Process-Score	< 0.0001	B	A	< 0.0001	D	C	C	A	A	BC	AB	AB
Topping/Dough	< 0.0001	B	A	0.0001	B	B	B	B	AB	A	B	B
NOVA	0.0007	B	A	< 0.0001	A	B	B	B	AB	A	A	A
Price	< 0.0001	B	A	< 0.0001	B	A	B	B	A	A	AB	B

#### 2.2.3.2.2 Nutritional values

Overall, all the five categories of the Nutri-Score were represented (from A to E): 1.6% were A, 24.7% B, 46.3% C, 27.1% D and 0.3% E. The fresh pizzas had a lesser nutritional quality than the frozen pizzas (**Table 12**,  $P < 0.0001$ ). In details, the fresh pizzas had a significantly higher energy density, more saturated fatty acids, carbohydrates, proteins and salt than the frozen pizzas, while they presented less sugars and fibers (**Table 12**,  $P < 0.0001$ ).

Considering the diversity between pizzas, the cheese and delicatessen pizzas appeared to be the richest in fats, saturated fatty acids, proteins and overall energy density, making it therefore the ones with the worst Nutri-Scores (**Table 12**).

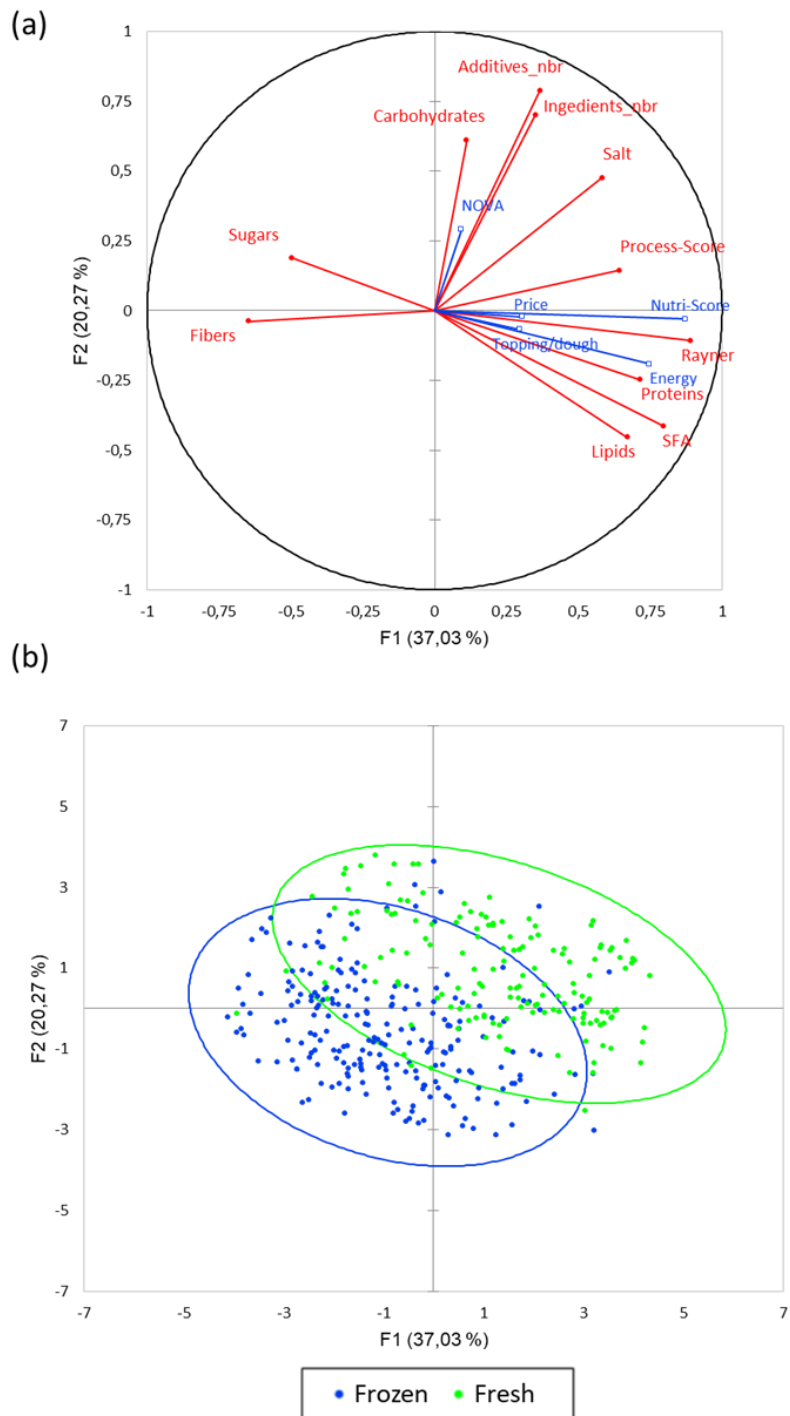
#### 2.2.3.2.3 Other attributes

In terms of price, the studied fresh pizzas were sold from 2.90 to 12.63 €.kg<sup>-1</sup> ( $7.09 \pm 2.23$  on average), which was significantly more than the frozen pizzas (**Table 12**,  $P < 0.0001$ ), sold from 1.46 to 12.44 €.kg<sup>-1</sup> ( $6.11 \pm 1.79$  on average).

The topping/dough ratio varied from 0.5 to 3, and was significantly higher for the fresh pizzas ( $1.37 \pm 0.35$  on average) compared to the frozen pizzas ( $1.15 \pm 0.23$  on average) (**Table 12**,  $P < 0.0001$ ), that is to say more topping and less dough.

#### 2.2.3.2.4 Correlations between the variables

**Figure 41** summarizes the correlations between all the variables (**Figure 41a**), and highlights the variability of the pizzas (**Figure 41b**).



**Figure 41.** (a) Representation of the correlations among the different variables for the 380 pizzas through a Principal Component Analysis (F1 + F2 = 57.29%). Active variables are in red, supplementary variables are in blue. (b) Biplot of the 380 pizzas, with 95% confidence ellipses. Fresh pizzas are in green, frozen pizzas are in blue.

The correlations between the variables are given in **Table 10**. In particular, the Process-Score appeared to be significantly correlated to all the nutritional variables at the exception of sugar (Spearman correlation coefficient  $r = -0.06$ ). The Process-Score had the best correlation to the Rayner's score ( $r = 0.56$ ), the energy density ( $r = 0.49$ ), the level of salt ( $r = 0.46$ ) and the level of saturated fatty acids ( $r = 0.45$ ).

However, the Process-Scores did not appear to be correlated to the number of ingredients ( $r = 0.10$ ) and NOVA classification ( $r = -0.01$ ). Indeed, NOVA appeared to be only correlated to the fiber level ( $r = -0.14$ ), number of ingredients ( $r = 0.43$ ) and additives ( $r = 0.41$ ) and topping/dough ratio ( $r = 0.12$ ).

The Rayner's score was in particular correlated to the level of saturated fatty acids ( $r = 0.79$ ) and energy density ( $r = 0.71$ ).

## 2.2.4 Discussion

### 2.2.4.1 Variability among food groups

As a synthetic view of the variability depicted for some of the studied variables, the PCA on **Figure 38** for the soft breads and **Figure 41** for the pizzas highlight a large diversity within a given food group. The **Figure 40** highlights that even in a more restrained food space as the plain soft breads, there is still a large variability between the products.

It could be interesting to track different indicators such as the percentage of flour for cereal products like bread or pastries, such as the topping/dough ratio for pizzas for instance. Some indicators appeared to be related for all the products, such as the number of additives, which was higher as the number of ingredients in the recipe raised ( $r = 0.49$ , **Table 10**, **Figure 37** & **Figure 40**). The Process-Score also tended to be higher as the Nutri-Score was higher (i.e., worse) for the pizzas and the soft breads taken ( $r = 0.55$  &  $0.27$ , respectively, **Table 10**). This might be explained by the similarity of the processing steps for the industrial products (or an induced similarity by the lack of information for the industrial processes actually involved), which minimizes the diversity of industrial processes and increases the variability due to the ingredients, therefore influencing the Nutri-Score. To go further, it will be necessary to have access to precise industrial processes, often confidential.

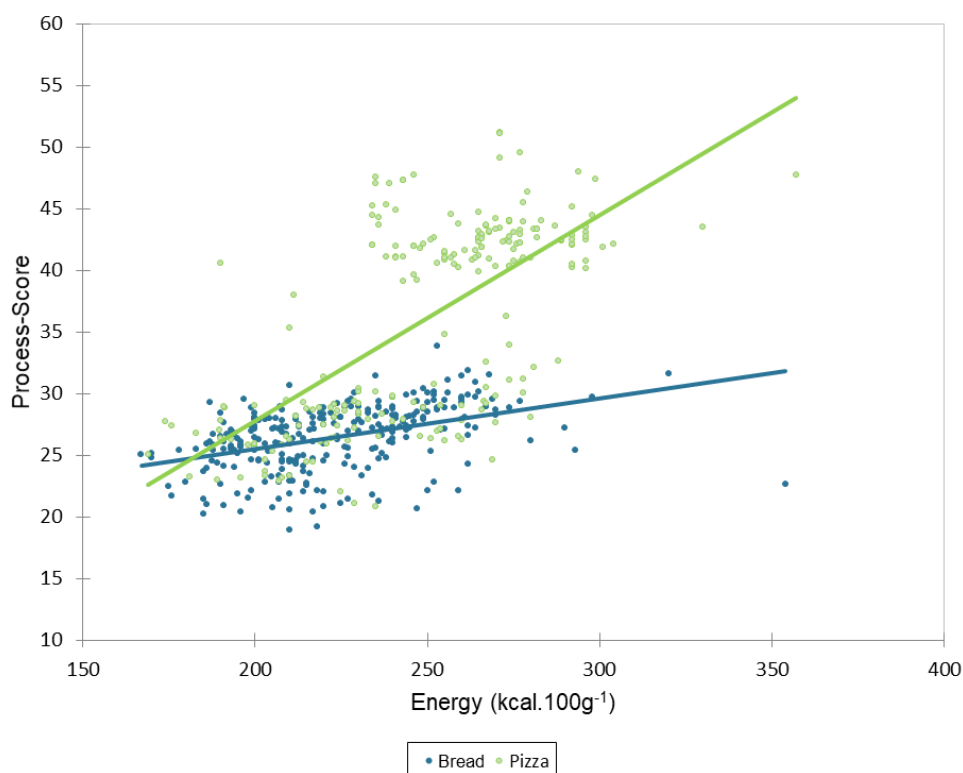
However, it appears absolutely necessary to define the research framework, as the conclusions could vary from a food group to another. Therefore it might be interesting to include comparable products (e.g., different cereal products) and investigate whether the findings are consistent or whether there are already nuances. We chose here to consider a simple food product, the soft bread, a carrier food (i.e., a basis for a sandwich or spreads) with a rather simple recipe (i.e., flour, water, fat, sugar, yeast and salt).

Furthermore, it is also important to have a knowledge of the investigated product area. Indeed, we saw several subgroups among each food category, such as the duality fresh/frozen pizzas or the different soft bread subgroups (e.g., plain, whole, cereals, gluten-free). But other processing modes (e.g., homemade, artisanal) could be of interest and enlarge this multi-criteria mapping, allowing to display subgroups of products.

#### 2.2.4.2 From simple to complex food products

Considering that our two models are different (carrier food *versus* whole meal), even though both are highly consumed, the impact on health is not the same. Moreover, we could hypothesize that the longer the ingredient list, the greater the diversity.

Furthermore, overall conclusions should be very cautious as it may not be appropriate to gather data on different products (e.g., pizzas and soft breads here) to make overall correlations. **Figure 42** illustrates the differences between the two food groups studied in this paper, with the example of the Process-Score and energy: for breads, these two variables are not correlated ( $r = 0.10$ ), whereas for pizzas, two distinct groups seem visible and there is a significant correlation ( $r = 0.49$ ) (**Table 10**). These two pizza groups would be in accordance to the dichotomy described in **Table 12** with the fresh pizzas being richer in energy and with a higher Process-Score than the frozen pizzas.



**Figure 42.** Linear regressions of the Process-Scores according to the energy density for the soft breads (in blue) and pizzas (in green), respectively.



It might appear counterintuitive to have a higher Process-Score for a relatively simple product that is the plain soft bread ( $42.1 \pm 1.7$  on average), compared to a pizza which seems more processed ( $26.8 \pm 2.8$  on average). However, considering that the Process-Score is weighed according to the percentages of the ingredients in the recipe, the pizza dough is comparable to the soft bread with a Process-Score around 33. Then, cheeses have Process-Scores around 40 (mozzarella) to 47 (emmental), but the other ingredients tend to lower the Process-Score due to the ingredients, with tomato sauce around 25 and ham around 15 for instance. Besides, the processing steps for the pizza are rather low as it is only assembling these ingredients, which gives an overall Process-Score lower for the pizza, compared to the soft bread. It would be interesting to question the consumers around their perception of the transformation degree of these two products, with and without information on their processing. The interest of adding information such as the Process-Score might also be discussed, for both the consumers and the manufacturers.

#### *2.2.4.3 Limitations of the study*

For this type of study, the choice and use of database was a real challenge. In this study, we chose to use Oqali and OpenFoodFacts to have an overview of the studied process foods. First, the collection of the data was not optimal as data from OpenFoodFacts are not associated to a date of collection. Therefore, it might include soft breads from different years. However, each entry was named so that there are no duplicates (i.e., strictly identical entries, or two variations of the same reference). The data from the Oqali or using the same methodology (i.e., real life inventories in representative shops at a given time) would have been ideal for the soft breads as well, but no highlight was made on soft bread and their open access data only included a smaller amount of soft breads products (around 50). And since such a multi-criteria approach requires complete datasets, it is complicated to build such datasets from scratch. The methodology for counting the ingredients could also be modified, especially with regard to ingredients that appear more than once. It would also have been more robust to have averaged prices (i.e., from multiple stores) for the soft breads.

The characterization of such dispersions within a food product group are subject to variation, and are therefore only valid at a given time. Indeed, there are frequent modifications that make it hard to track a given food product. For instance, packaging can be modified, recipes can be slightly adjusted or more revisited as for example the sunflower oil replacement because of its shortage following the Russian-Ukrainian conflict ([Zavorotniy & Bilyk, 2017](#)).

There are also some grey areas on the estimated percentages of the recipes, which induces a potential error on the following calculations (e.g., Process-Scores). The generic manufacturing diagram of the soft breads could also be refined with the help of the industrials willing to communicate on their specific manufacturing process, which would create more variability in the manufacturing process.

Finally, NOVA did not appear to be correlated to other variables, other than the number of ingredients and the number of additives (**Table 10**). This is in line with the criticisms made towards NOVA, pointing out that this indicator is more related to the formulation than the actual processing of the food (Souchon & Braesco, 2022). However, our data representation approach using multivariate statistical analysis is not suitable for discrete data as NOVA, and even the Spearman correlation coefficient might not be appropriate with a dichotomous variable (i.e., NOVA3 or NOVA4).

### 2.2.5 Conclusion

These multi-criteria mappings allowed to highlight the diversity of products for a given food family, here with the examples of pizzas and soft breads. The development of the Process-Score permitted to separate the role of ingredient composition and the role of processing. Results showed the correlations between the different variables (e.g., nutritional, processing, formulation) in light of the different soft breads and pizzas studied. In particular, on pizza, the Process-Score was correlated to the Rayner's score, the level of salt and the level of saturated fatty acids, which could be associated with a "poor" diet. On breads, the Process-Score was correlated to the price, fat and fiber contents. On plain soft breads only, differences were highlighted as the organic plain soft breads being richer in energy, fats, saturated fatty acids, fibers, salt, with less ingredients and additives than non-organic breads. This approach could be completed with complementary information, such as sensory or environmental aspects, and be performed on product families from other areas.

### Supplementary materials

**Supplementary Table 1** included in the manuscript.

### CRedit authorship contribution statement

**Bastien Maurice:** Conceptualization, Data curation, Formal analysis, Investigation, Visualization, Writing – original draft. **Anne Saint-Eve:** Conceptualization, Funding acquisition, Supervision, Writing – review & editing. **Aurélia Pernin:** Supervision, Writing – review & editing. **Pascal Leroy:** Software, Formal analysis. **Isabelle Souchon:** Conceptualization, Funding acquisition, Supervision, Writing – review & editing.

### Conflicts of interest

The authors declare no conflict of interest.

### Funding

This research was funded by Qualiment<sup>®</sup> and supported by the ANR (agreement #20 CARN 0026 01) in the framework of its 2019 call for scientific resourcing projects, along with a Ph.D. grant to Bastien Maurice, co-funded by the French National Institute for Agricultural Research (INRAE) and the doctoral school ABIES of Paris-Saclay

University.

## Acknowledgments

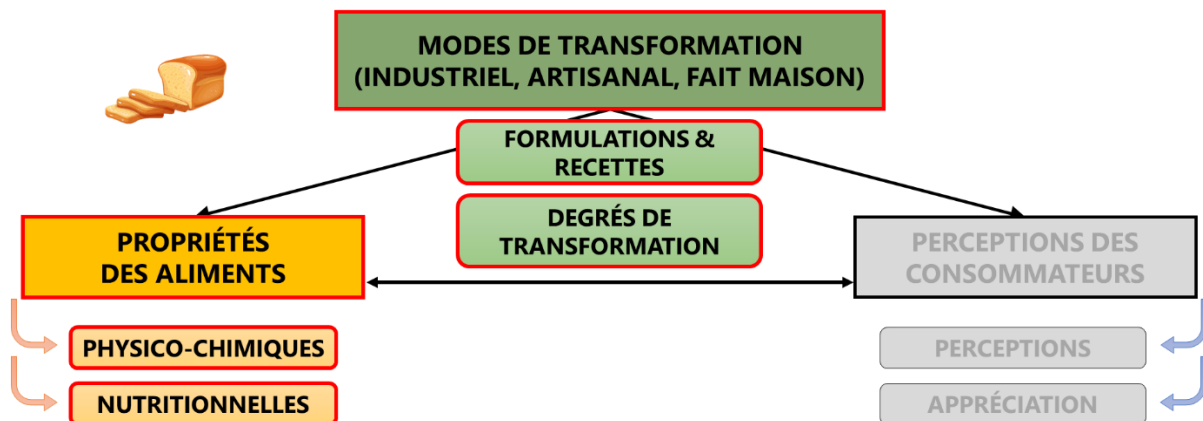
The authors would like to thank David Forest for his crucial technical support.

Cette section du chapitre 2 permet de décrire la variabilité des pizzas et des pains de mie industriels, notamment à l'aide d'un nouvel indicateur du degré de transformation présenté en 2.1 : le Process-Score.

Des corrélations intéressantes entre composition et Process-Score ont été mises en évidence, et se sont avérées dépendantes de l'espace produits étudié. Par exemple, des liens entre degré de transformation et teneurs en sel et matière grasse ont été mis en évidence. Ces liens pourraient certainement expliquer à la fois la confusion entre formulation et transformation, observée avec l'utilisation du score NOVA ; mais aussi les incidences négatives sur la santé lorsque des liens entre diète, consommation de produits ultra-transformés et problèmes de santé ont été démontrés dans des études épidémiologiques.

Cette connaissance de l'offre industrielle a permis de choisir des pains industriels représentatifs de la diversité existante, auxquels ont été ajoutés des pains artisanaux et faits maison afin d'étudier l'impact du mode de transformation sur les propriétés des pains de mie (**Figure 27d**).

### COMPRENDRE LES LIENS ENTRE PROPRIÉTÉS, PERCEPTIONS ET MODES DE TRANSFORMATION ?



**Figure 27d.** Démarche abordée dans la section 2.3 pour répondre aux questions de recherche.

## 2.3 IMPACT DU MODE DE TRANSFORMATION SUR LES PROPRIÉTÉS DU PAIN DE MIE

Ce chapitre est repris d'un article paru dans *Foods* ([doi.org/10.3390/foods11101484](https://doi.org/10.3390/foods11101484) – cf. B.).

### Insights into the impacts of industrial, artisanal, and homemade food processing on the technological, nutritional, and physicochemical properties of soft bread

Bastien Maurice<sup>1</sup>, Anne Saint-Eve<sup>1</sup>, Aurélie Pernin<sup>1</sup>, Pascal Leroy<sup>2</sup> and Isabelle Souchon<sup>3,\*</sup>

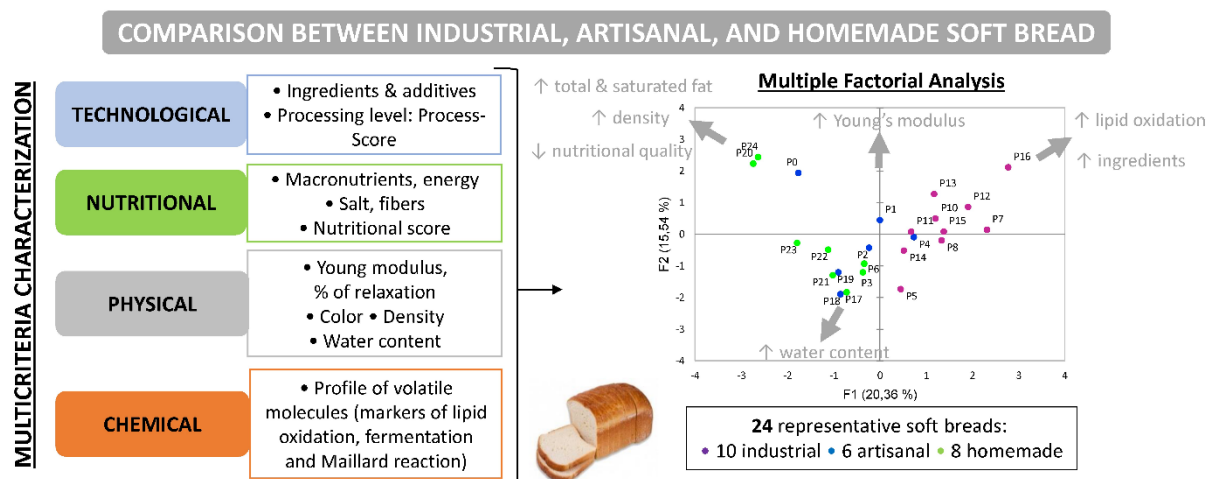
<sup>1</sup> Univ Paris-Saclay, UMR SayFood, AgroParisTech, INRAE, F-78850 Thiverval-Grignon, France

<sup>2</sup> Univ Paris-Saclay, UR ALISS, INRAE, F-94205 Ivry-sur-Seine, France

<sup>3</sup> Avignon Univ, UMR SQPOV, INRAE, F-84000 Avignon, France

\* Corresponding author: [isabelle.souchon@inrae.fr](mailto:isabelle.souchon@inrae.fr)

### Graphical abstract



### Abstract

Soft bread has a significant place in modern diets, and its nutritional impact on human health can be substantial. Within this product category, there is an extensive range of ingredients, formulations, and processing methods, which all contribute to the vast diversity found in the final products. This work compared the impact of three different processing methods (industrial, artisanal, and homemade preparation) on the technological (formulation and processing), nutritional, and physicochemical properties of soft bread. In total, 24 types of soft bread were analyzed: 10 industrial, 6 artisanal, and 8 homemade. Although production diagrams were similar among the three methods, industrial recipes contained on average more ingredients and more additives. Industrial bread was lower in saturated fat than the other two groups, but contained more sugar than homemade bread. The physical properties of all loaves were comparable, with the exception of higher crumb elasticity in industrial bread compared to homemade. An analysis of volatile molecules revealed more lipid oxidation markers in industrial bread, more fermentation markers in artisanal bread, and fewer markers

of Maillard reactions in homemade bread. These results offer a quantitative assessment of the differences within a single product category, reflecting the real-world choices for consumers.

**Keywords:** multicriteria mapping; processed food; texture; volatile; GC-MS; sandwich bread; white bread; oxidation; fermentation; aroma

### 2.3.1 Introduction

In recent centuries, food has become increasingly industrialized (Lang, 2003). This process has led to the development of numerous manufacturing operations and novel formulations, all with the aim of offering consumers around the world a diverse range of food products that meet the quality standards and norms of globalized trade (Lamanthe, 2007; Potter & Hotchkiss, 1995).

The magnitude of this transformation has fueled questions about its potential impacts on human health (Juul et al., 2021). In particular, food processing has come under increased scrutiny, to the point that food classification schemes have been developed that are based primarily on the processing and formulation levels (where, by whom, why and how foods were prepared) (Crino et al., 2017), such as EPIC (European Prospective Investigation into Cancer and Nutrition) (Slimani et al., 2009) and NOVA (C. A. Monteiro et al., 2019). However, these classification schemes have often been criticized because they integrate multiple dimensions linked to the processing and formulation (Sadler et al., 2021), and because they suffer from a lack of robustness (Braesco et al., 2022; Petrus et al., 2021). A first step in clarifying the existing ambiguity would be to distinguish the formulation of a food (i.e., recipe) from its processing (i.e., unit operations), as these concepts are sometimes perceived differently in the field of public health than in the realm of food science (Botelho et al., 2018). Although it is clear that the consumption of ultra-processed food is linked with negative health consequences, the hypotheses proposed to explain this effect have been numerous and varied.

Some explanations target the presence of additives or contaminants originating from contact materials and packaging, while others highlight the formation of certain compounds during processing. Modifications of the food matrix in such a way as to increase the rate of ingestion and kinetics of digestion has also been proposed as a possible hypothesis. Other researchers lay blame on the extreme palatability of ultra-processed foods, with complex formulations, often using flavoring agents (Juul et al., 2021).

Formulation and processing are both essential in determining the structure of a finished product, which is a key element in shaping both sensory properties and nutritional characteristics. For example, the density of bread is known to influence its glycemic index (Freitas et al., 2022). Formulation and processing are also responsible for the development of aroma compounds; for instance, in bread, flour type,

fermentation and baking conditions influence the production of volatile compounds (Galoburda et al., 2020; Pico et al., 2015). Furthermore, the association between formulation and processing can, via Maillard reactions, create molecules such as acrylamide, 5-hydroxymethylfurfural, and furan, which all contribute to the toxicological risk posed by the final product and its potentially harmful effects on health (Koszucka et al., 2020). Furans appear in thermally processed foods, and levels of furan in toasted bread were found to be correlated to browning (Fromberg et al., 2014), and to levels of furfural in sponge cakes (Cepeda-Vázquez et al., 2018). A relationship was also identified between thermal processing and levels of furfural, 5-hydroxymethylfurfural, and certain color parameters, but not acrylamide (Michalak et al., 2019).

With increasing awareness of the impact of food on human health and the environment, consumers have become more attracted to homemade and local products, which convey a more virtuous image of being less processed and more authentic (Aprile et al., 2016). In consumer perceptions, there is a well-established duality between homemade products and mass-produced industrial goods. In between these two lies artisanal production, which is associated with the traditional aspects of homemade production but with higher volumes, and without the extensive automation and mass production found in industrial settings (Lingham et al., 2022). However, the distinctions between these three processing methods are not clearly or objectively established, and it is difficult to predict how differences in formulation and processing among the three methods may contribute to variation in the properties of the final food product.

To date, only a few studies have attempted to compare the characteristics of products within a single food category based on different methods of food processing (i.e., industrial, artisanal, and homemade). In the case of bread, the milling of wheat and the breadmaking process have been investigated for their effects on the nutritional quality of bread (Rosell, 2012). The fermentation step, in particular the use of sourdough or industrial yeast, has also been the subject of particular attention (Canesin & Cazarin, 2021). Different cooking methods—specifically, steaming, baking, and toasting—have been found to have an impact on bread quality and on the formation of volatile compounds from Maillard reactions (Pico et al., 2015). Comparisons of industrial and traditional French baguettes have highlighted differences in structure and texture (Jourden et al., 2016), as well as in aroma profiles (Jourden et al., 2017). Overall, though, little consideration has been given to the sometimes extreme variability that can exist among products within this category.

Here, we chose to focus on plain soft bread as a processed food model because it is a mass-marketed food product that has been a dominant element of the traditional diet of many countries and is still consumed in significant quantities worldwide (Silow et al., 2016). Indeed, bakery products account for a large part of the ultra-processed foods consumed by Europeans (Mertens et al., 2022). For instance, data from 2017

indicate that nearly 90% of the French population consumes refined bread and dry bakery products, with an average of more than 100 g per person per day (ANSES, 2017b). As a dietary staple, the influence of bread on health should not be discounted, especially considering that different methods of processing—from the grain to the finished loaf—are known to influence the nutritional quality of the final product (Dewettinck et al., 2008). Previous studies have examined the effect of different processing methods on a single recipe, but the novelty of the present study is that it takes into account the actual variability in products available to consumers. Our goal was to analyze the real-world diversity that can be found in both recipes and processing techniques, as demonstrated by the range of industrial examples on shelves and the myriad recipes found online or from artisanal bakeries.

Overall, the objective of this study was to compare three different methods of processing (industrial, artisanal, and homemade) and their impacts on the technological, nutritional, and physicochemical properties of soft bread. To that end, within each method of preparation, we examined numerous properties of several different breads. Specifically, we assessed the number of ingredients and additives in recipes, an objective indicator of food transformation, amounts of macronutrients and salt, a global nutritional score, color, density, rheological properties, and volatile molecule profiles. By analyzing multiple types of bread within each processing method, we aimed to gain a better understanding of the broad diversity within this food category.

## 2.3.2 Materials and methods

### 2.3.2.1 Industrial, artisanal, and homemade soft bread

To compare the three different methods of processing—industrial, artisanal, and homemade—we selected and obtained different examples of soft bread from each group.

First, we searched the Open Food Facts database (<https://fr.openfoodfacts.org>) for all items corresponding to industrially prepared plain soft bread in France; this search returned 109 products (gluten-free and toasts excluded). By means of a hierarchical ascending classification (data not shown), we selected 10 industrial soft breads, which were representative of the variety within this group with respect to nutritional characteristics and the number of ingredients and additives. Six types of artisanal soft bread were purchased in different local bakeries (Yvelines area, France), and eight types of homemade bread were prepared from popular online recipes. Ingredients and recipes for the 24 types of soft bread examined in this study are listed in **Table 13**.



**Table 13.** Detailed recipes for the soft breads of industrial, artisanal, and homemade origins used in this study.

\* refers to organic ingredients. Proportions are underlined when calculated with the Anatole<sup>®</sup> software. The number of ingredients (including flavoring, if present), additives, and NOVA categories are indicated for each bread.

Soft bread	Recipe: Ingredient & Quantity	Number of ingredients (including flavoring)	Number of additives	NOVA
P0 (artisanal)	Flour ( <u>55.6%</u> ), water ( <u>13.7%</u> ), butter ( <u>12.5%</u> ), eggs ( <u>10.1%</u> ), sugar ( <u>3.9%</u> ), yeast ( <u>3%</u> ), salt ( <u>1.3%</u> )	7 (0)	0	3
P1 (artisanal)	Flour (wheat flour, wheat gluten, malted wheat flour) ( <u>59.2%</u> ), water ( <u>30.3%</u> ), butter ( <u>4.6%</u> ), sugar ( <u>4.5%</u> ), salt ( <u>1%</u> ), egg yolk powder ( <u>0.4%</u> ), yeast, deactivated yeast, flour treatment agent E300	11 (0)	1	4
P2 (artisanal)	Not available	/	/	/
P3 (homemade)	T45 Flour (57.5%), water (29.9%), sugar (2.9%), eggs (2.9%), butter (2.3%), sunflower oil (1.7%), yeast (1.7%), salt (1 %)	8 (0)	0	3
P4 (artisanal)	Not available	/	/	/
P5 (industrial)	Wheat flour (73%), water ( <u>20.8%</u> ), rapeseed oil ( <u>2.2%</u> ), yeast ( <u>2.2%</u> ), salt ( <u>1%</u> ), flavor (contains alcohol) ( <u>0.5%</u> ), fermented corn flour, acerola extract	8 (1)	0	4
P6 (homemade)	T45 Flour (57.5%), water (29.9%), sugar (2.9%), eggs (2.9%), butter (2.3%), sunflower oil (1.7%), yeast (1.7%), salt (1%)	8 (0)	0	3



P7 (industrial)	T80 wheat flour (63%), water (25.8%), cane sugar (4.6%), sunflower oil (3%), yeast (1.9%) salt (1%), vinegar (0.5%), wheat gluten, natural flavor (contains alcohol), acerola extract	10 (1)	0	4
P8 (industrial)	Wheat flour (63%), water (23.7%), sugar (4.6%), rapeseed oil (3.2%), bean flour (2%), yeast (2%), salt (1%), vinegar (0.2%), wheat gluten, flavor (contains alcohol), acerola extract	11 (1)	0	4
P10 (industrial)	Wheat flour (66.5%), water (21.9%), rapeseed oil (3.1%), sugar (2.8%), yeast (2%), bean flour (2%), salt (1.1%), wheat gluten (0.2%), vinegar (0.1%), flavor (contains alcohol), preservative: calcium propionate, acerola extract	12 (1)	1	4
P11 (industrial)	Wheat flour (70%), water (16.9%), rapeseed oil (4%), yeast (4%), bean flour (2%), vinegar (1.7%), salt (1%), flavor (contains alcohol), acerola extract	9 (1)	0	4
P12 (industrial)	Wheat flour (contains gluten) (57%), water (30%), sugar (2.7%), sunflower vegetable oil (2.7%), yeast (1.8%), wheat gluten (1.7%), soybean flour (1.2%), dextrose (0.9%), salt (0.8%), emulsifiers: sodium stearoyl-2-lactylate, mono- and diglycerides of fatty acids, preservatives: calcium propionate, sorbic acid, potassium sorbate, stabilizer: guar gum, flour treatment agent: ascorbic acid, flavor (contains alcohol)	17 (1)	7	4

P13 (industrial)	Wheat flour (67%), water (20.7%), sugar (5.8%), rapeseed oil (2%), wheat gluten (1.7%), yeast (1.2%), salt (0.9%), flavor (0.3%), preservative: calcium propionate, emulsifiers: mono- and diglycerides of fatty acids, lecithin, thickener: xanthan gum, bean flour	13 (1)	4	4
P14 (industrial)	Wheat flour (63%), water (29.6%), yeast (4.7%), wheat fiber (1.3%), salt (1%), vinegar (0.3%), wheat gluten, bean flour, emulsifier: mono and diglycerides of fatty acids (rapeseed), preservative: calcium propionate, psyllium, acerola extract	12 (0)	2	4
P15 (industrial)	Wheat flour* (65%), water (25.4%), rapeseed oil* (3.9%), cane sugar* (3.3%), salt (1%), yeast (1%), wheat gluten* (0.4%), natural flavor* (contains alcohol*)	8 (1)	0	4
P16 (industrial)	Wheat flour* (47%), water (29.9%), sourdough* (wheat flour*, water, yeast, untreated sea salt) (14.5%), sunflower oil* (3%), white cane sugar* (3%), wheat gluten* (1.8%), malted wheat flour* (0.7%), yeast* (0.2%), untreated sea salt, acerola extract	13 (0)	0	4
P17 (homemade)	T45 Flour (55.5%), water (18.5%), milk (18.5%), oil (3.9%), sugar (1.8%), baker's yeast (1.1%), salt (0.6%)	7 (0)	0	3
P18 (artisanal)	Traditional flour (65.9%), water (30.9%), sourdough (2%), salt (1.1%), baker's yeast (0.1%)	5 (0)	0	3
P19 (artisanal)	Flour (55.6%), water (30.5%), butter (5.6%), sugar (5.6%), yeast (1.7%), salt (1.1%)	5 (0)	0	3

P20 (homemade)	Flour (66.5%), water (14.9%), soft butter (8.7%), semi-skimmed milk (4.2%), baker's yeast (2.8%), sugar (1.4%), salt (1.4%)	7 (0)	0	3
P21 (homemade)	Flour (59.5%), milk (18.1%), water (12.1%), butter (4.1%), fresh yeast (2%), sugar (2%), eggs (1.2%), salt (1%)	8 (0)	0	3
P22 (homemade)	Flour (54.6%), milk (21.8%), water (10.9%), butter (5.6%), sugar (4.4%), fresh yeast (2.2%), salt (0.5%)	7 (0)	0	3
P23 (homemade)	Flour (51.1%), milk (25.7%), water (12.8%), butter (5.3%), fresh yeast (2%), sugar (1.5%), salt (1.5%)	7 (0)	0	3
P24 (homemade)	Flour (56.3%), semi-skimmed milk (33.8%), sweet butter (6.9%), sugar (1.1%), salt (1.1%), baker's yeast (0.8%)	6 (0)	0	3

To take into account intra-product variability, we sampled three separate loaves of each of the 24 types of bread for the different characterizations described below. All sampling was conducted on fresh bread, i.e., at least one week before the date of minimum durability ("best before" date) on the packaging and less than 5 hours after opening for industrial loaves, less than 5 hours after purchase for artisanal loaves, and less than 5 hours after baking for homemade loaves. Samples were frozen at -80°C and transported at less than 5°C for the determination of nutritional values.

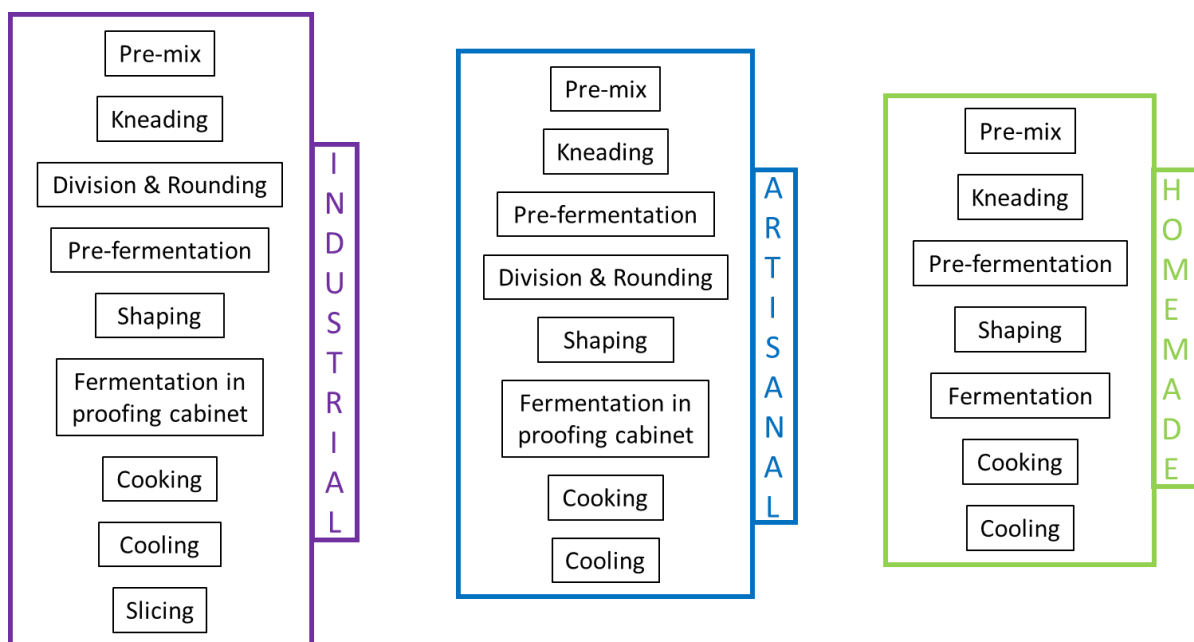
### 2.3.2.2 Recipes & technological data

With the exception of additives, every item on the labeled recipe was counted as an ingredient. Additives were counted separately, labeled with either their common names (e.g., ascorbic acid) or E numbers (e.g., E300). Missing proportions of ingredients were determined using Anatole<sup>®</sup> software (Leroy et al., 2022), which analyzes the mass balances of different nutrients using the recipe and nutritional values on the label, in light of labeling regulations.

The degree of processing was evaluated using the NOVA classification (**Table 13**) and its four processing categories (i.e., NOVA1: unprocessed or minimally processed foods, NOVA2: processed culinary ingredients, NOVA3: processed foods, NOVA4: ultra-processed foods) (C. A. Monteiro et al., 2019). This classification is commonly used to characterize the degree of processing of a food product; it is mostly based on the recipe

formulation (complexity of the listed ingredients and functionalities of the additives) and on the use of specific processing operations. However, its consistency has been criticized. For bread products, a low degree of agreement was reported between NOVA classifications performed by different expert evaluators, perhaps because this method takes into account subjective data relating to both processing and formulation (Braesco et al., 2022).

To dissociate the effects of formulation from those of food processing, and to better account for the degree of transformation of each bread, we developed an algorithm based on processing diagrams and recipes. Each unit operation of the processing diagram was associated with a score that reflects the time and intensity of the process and its impact (chemical, physical, or biological) on the food product: the more extreme the process conditions (temperature, pressure, time), the higher the impact and thus the higher the score (Supplementary Table 2a). In this way, a Process-Score was calculated for each ingredient (Supplementary Table 2b) according to the unit operations in its processing diagram. An example of a production diagram for soft bread is shown in Figure 43.



**Figure 43.** Examples of a production diagram for industrial, artisanal, and homemade soft breads, listing the general unit operations for each.

### 2.3.2.3 Nutritional data

The nutritional values (per 100 g: energy density, total carbohydrates, sugars, dietary fibers, proteins, total fats, saturated fatty acids, and salt) of bread were experimentally determined by an accredited laboratory (Eurofins Scientific, Nantes, France), according to the legal labeling requirements in EU regulation 1169/2011. This was performed for five industrial, six artisanal, and eight homemade breads. For the 13 breads with both labeled and experimental nutritional values, the only deviations from

labeled values were for carbohydrate, sugar, and salt content ( $P = 0.001$ ,  $0.006$ , and  $0.002$ , respectively), for which a mean difference of  $8.9\%$ ,  $-14.0\%$ , and  $12.4\%$ , respectively, was observed between the experimental and labeled values. However, such deviations are still within the legal tolerance laid out by regulation 1169/2011. Therefore, for the five industrial soft breads that were not experimentally tested, the nutritional data from the label were used. We also calculated Rayner's score and the Nutri-Score as described by the French Public Health Agency ([Santé Publique France, 2020](#)). Rayner's score is a sum of points received from beneficial and deleterious nutritional components, resulting in an integer from  $-15$  to  $40$  that is then assigned to one of five Nutri-Score categories. The Nutri-Score has become one of the most efficient traffic-light labeling schemes and is visible on a growing number of food products in Europe.

#### 2.3.2.4 Characterization of the physical properties of soft bread

##### 2.3.2.4.1 Soft bread density

The apparent density of each bread was evaluated by first weighing three slices from the middle (away from the ends) of the loaf using a  $0.01$  g-precise scale (XT 6200C, Precisa, Dietikon, Switzerland) and then measuring the volume of the slices using image analysis with ImageJ software (National Institutes of Health, Bethesda, MD, USA). Front and side pictures of the three slices were taken under controlled light conditions (ScanCube, Altawak Technologies, Paris, France) to measure the area and width of each slice and thus obtain its volume. This was repeated on each of the three loaves of each type of soft bread.

##### 2.3.2.4.2 Colorimetry

For the crumb of each bread, we evaluated the color parameters  $L^*$  (scale of  $0$  (dark) to  $100$  (light)),  $a^*$  (scale of  $-128$  (green) to  $127$  (red)), and  $b^*$  (scale of  $-128$  (blue) to  $127$  (yellow)) using a spectrophotometer (CM-2600d, Minolta, Tokyo, Japan) in SCE mode (Specular Component Excluded, i.e., excluding surface conditions). As before, three replicate loaves were sampled for each bread. Three slices were taken per loaf, and three different areas were analyzed on each slice (to smooth out any color differences within a slice) under the same controlled light conditions described above. Chromaticity,  $C^*$  (scale of dull to bright), was calculated as  $C^* = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}}$ .

##### 2.3.2.4.3 Texture properties

Uniaxial compression-relaxation tests were performed using a texture analyzer (TA.XT plus, Stable Micro Systems, Surrey, United Kingdom) at room temperature ( $20^\circ\text{C}$ ). A  $30$ -mm-diameter flat circular probe was applied to  $30$ -mm-diameter samples taken from the center of a bread slice, employing a constant speed of  $0.5 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$  and a strain rate of  $40\%$ , followed by a holding time of  $20$  s. Raw data were exported to Python 3 (Python Software Foundation, <https://www.python.org>) and used to

calculate values of Young's modulus ( $F_{\max}$ ) and the percentage of relaxation (respectively, the values of the initial slope of the stress/strain curve under maximum applied force, and the difference between the maximum applied force and the force after 15 s of relaxation). Three sets of measurements were taken from each of the three replicate loaves of each bread.

#### 2.3.2.4.4 Physical determination of water content

Water content was calculated as the difference in weight of six crumb samples (ca. 4 g each; two samples from each of the three replicate loaves) before and after 48 h of desiccation at 110°C in a drying oven (UF160, Memmert GmbH, Schwabach, Germany). Weighing was carried out on a 10<sup>-4</sup> g-precise scale (303A, Precisa, Dietikon, Switzerland).

#### 2.3.2.5 Characterization of the chemical properties of soft bread

##### 2.3.2.5.1 Analysis of volatile compounds

To compare the profiles of volatile compounds among the 24 soft breads, 120 g of a sample of 20% (weight/weight) bread crumb and 80% (weight/weight) water were blended for 90 s with an ULTRA-TURRAX<sup>®</sup> device (T25, IKA-Werke, Staufen im Breisgau, Germany) at 8 000 rpm (rotations per minute) in a beaker surrounded by ice. From this, 5 g were placed in a vial and kept frozen at -80°C. Samples were placed at 4°C 16 hours prior to analysis on a Dynamic Headspace System coupled with a Multipurpose Sampler Autosampler (GERSTEL GmbH, Mulheim an der Ruhr, Germany). This system heated the samples to 40°C for 3 min with an agitation speed of 500 rpm. The samples were purged with helium at 30 mL.min<sup>-1</sup> for 10 min and volatile compounds were collected on Tenax<sup>®</sup> TA adsorbent (GERSTEL GmbH, Mulheim an der Ruhr, Germany) at 30°C. The sorbent material was then dried to remove residual water vapor at 30°C with a helium flow of 50 mL.min<sup>-1</sup> for 6 min. GC-MS was performed using a gas chromatography system (7890, Agilent, Santa Clara, CA, USA) coupled to a quadrupole mass spectrometer (5977B, Agilent, Santa Clara, CA, USA). A non-polar DB-5MS column (60 m × 0.32 mm × 1 μm) was used (Agilent, Santa Clara, CA, USA). Injection was performed in splitless mode using helium at a flow rate of 1.6 mL.min<sup>-1</sup>. The oven temperature of the column was programmed as follows: temperature increase from 40°C to 155°C at 4°C.min<sup>-1</sup>, followed by an increase from 155°C to 250°C at 20°C.min<sup>-1</sup>. The oven temperature was then maintained at 250°C for 5 min. The chromatogram was recorded, and the areas of the chromatographic peaks were integrated using MassHunter software (Agilent Technologies, Santa Clara, CA, USA) from the total ion current (TIC), and, in cases of co-elution, using an extracted ion chromatogram (EIC) (the selected ions for each compound treated by EIC are available in **Supplementary Table 3**). Compounds were identified by comparison of their mass spectra with those in the NIST (National Institute of Standards and Technology) 2017 Mass Spectral Library, and verification was performed using their Kovats indexes. The compounds that could be used to successfully discriminate among processing

methods (industrial, artisanal, or homemade) are presented in **Table 14** (46 out of 81). For statistical analysis, the peaks below the limit of detection (i.e., three times the noise of the baseline signal) were set at 1 000 for TIC and 100 for EIC.

**Table 14.** Statistical comparison of the different tested variables (units in parentheses) among the three processing methods.

*Mean values  $\pm$  standard deviation (n = values taken into account, if different from the group as a whole) are shown for each processing method, with the P value of an ANOVA or Kruskal-Wallis test. Statistical groups determined by post-hoc test (Tukey or Conover-Iman, respectively) are indicated by letters. Groups with the same letter are not statistically different. \* for  $P \leq 0.05$ , \*\* for  $P \leq 0.01$ , and \*\*\* for  $P \leq 0.001$ , in **bold** when below the threshold of 0.05.*

	Variable	Industrial (n=10)		Artisanal (n=6)		Homemade (n=8)		P value
R E C I P E	Number of ingredients	11.3 $\pm$ 2.8	B	7 $\pm$ 2.8 (n=4)	A	7.23 $\pm$ 0.7	A	<b>0.002**</b>
	Number of additives	1.4 $\pm$ 2.4	A	0.3 $\pm$ 0.5 (n=4)	A	0.0 $\pm$ 0.0	A	0.132
	Process-Score	43.0 $\pm$ 1.8	A	41.1 $\pm$ 0.6 (n=4)	A	41.4 $\pm$ 3.4	A	0.287
	% animal fat	0.0 $\pm$ 0.0	A	6.7 $\pm$ 6.8 (n=4)	B	4.7 $\pm$ 2.6	B	<b>0.002**</b>
	% vegetable fat	2.7 $\pm$ 1.1	B	0.0 $\pm$ 0.0 (n=4)	A	0.9 $\pm$ 1.4	A	<b>0.005**</b>
P H Y S I C A L	Water content (g.100 g <sup>-1</sup> )	38.4 $\pm$ 3.6	A	41.9 $\pm$ 3.0	A	39.7 $\pm$ 2.1	A	0.221
	Density	0.2 $\pm$ 0.0 (n=5)	A	0.2 $\pm$ 0.1	A	0.3 $\pm$ 0.1	A	0.100
	F <sub>max</sub> (N)	1.6 $\pm$ 0.8	A B	1.2 $\pm$ 0.5	A	3.1 $\pm$ 2.7	B	<b>0.020*</b>
	Relaxation (%)	36.4 $\pm$ 5.0	B	32.1 $\pm$ 3.7	AB	30.9 $\pm$ 4.0	A	<b>0.040*</b>
	Young's modulus (kPa)	9.3 $\pm$ 9.1	A	4.7 $\pm$ 3.7	A	9.3 $\pm$ 7.8	A	0.329

	L*	73.7 ± 3.8 (n=5)	A	72.8 ± 2.0	A	74.4 ± 2.1	A	0.577	
	a*	0.5 ± 0.8 (n=5)	A	0.4 ± 0.3	A	0.1 ± 0.5	A	0.426	
	b*	14.6 ± 1.3 (n=5)	A	19.3 ± 3.8	B	19.4 ± 2.3	B	<b>0.013*</b>	
	C*	14.6 ± 1.3 (n=5)	A	19.3 ± 3.8	B	19.4 ± 2.3	B	<b>0.014*</b>	
N U T R I T I O N A L	Energy (kcal.100g <sup>-1</sup> )	270.0 ± 15.4	A	280.8 ± 33.3	A	285.5 ± 21.9	A	0.501	
	Total fat	(g. 100g <sup>-1</sup> )	4.0 ± 1.3	A	5.6 ± 4.1	A	6.3 ± 2.2	A	0.075
	Saturated Fat		0.5 ± 0.2	A	3.2 ± 2.7	B	3.5 ± 2.2	B	<b>0.002**</b>
	Total Carbohydrate		50.5 ± 3.2	A	51.2 ± 1.9	A	51.8 ± 1.2	A	0.813
	Sugars		6.1 ± 1.6	B	4.8 ± 0.9	AB	3.6 ± 1.3	A	<b>0.003**</b>
	Fibers		3.4 ± 1.0	A	2.9 ± 0.8	A	3.2 ± 0.4	A	0.523
	Proteins		8.2 ± 0.9	A	8.6 ± 1.2	A	7.8 ± 0.3	A	0.228
	Salt		1.2 ± 0.2	A	1.3 ± 0.1	A	1.3 ± 0.4	A	0.333
	Rayner's score		0.0 ± 1.8	A	5.5 ± 5.9	A	5.4 ± 6.2	A	0.056

### 2.3.2.5.2 Quantification of key volatile compounds

On a subset of 11 soft breads, we used the standard addition method to determine the concentrations of six target volatile molecules. These compounds were selected from the scientific literature as markers of specific processes involved in lipid oxidation (2-pentylfuran, hexanal), fermentation (3-hydroxybutan-2-one, ethyl octanoate), and Maillard reactions (2,5-dimethylpyrazine, furan-2-carbaldehyde) (Pico et al., 2015). The standard addition method was chosen to avoid potential matrix effects due to the different formulations of breads. Samples of 5 g each were prepared in a vial as described above with 0 µL, 10 µL, 100 µL, or 400 µL of a stock solution that contained the six compounds. The stock solution contained 5,000 µg.g<sup>-1</sup> 3-hydroxybutan-2-one (CAS number 513-86-0), 30 µg.g<sup>-1</sup> hexanal (66-25-1), 10 µg.g<sup>-1</sup>



furan-2-carbaldehyde (98-01-1), 10  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  2,5-dimethylpyrazine (290-37-9), 10  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  ethyl octanoate (106-32-1), and 5  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  2-pentylfuran (3777-69-3). Using the values generated by the four addition levels of the six compounds, a calibration curve (taking into account the dilution factor related to sample preparation) was created for each bread and each compound. Linear regression was then used to determine the concentration of each compound in each of the 11 breads.

#### 2.3.2.6 Statistical analysis

Statistical analysis was performed with XLSTAT software, v2016.1.1 (Addinsoft, Bordeaux, France). All statistical tests were performed on the mean values for each bread, with a cut-off at  $P = 0.05$ .

The normality of the variables was tested with a Shapiro-Wilk test, and homoscedasticity was tested using Levene's test. If the data were homoscedastic and followed a normal distribution, they were then analyzed using a one-way ANOVA (Analysis of Variance), followed by a post-hoc Tukey HSD (Honestly Significant Difference) test to compare groups. If not, a Kruskal-Wallis test was used, followed by a Conover-Iman test (Granato et al., 2014). In both cases, the Bonferroni correction was applied for multiple comparisons.

The experimentally derived nutritional data were compared to values present on the front-of-pack labeling using a Wilcoxon signed-rank test.

Correlations between variables were assessed using the Spearman method, as applied to non-normal data.

A correlation matrix Principal Component Analysis was performed using Pearson correlations and visualized as a distance biplot, with 95% confidence ellipses for each processing method. The same approach was taken for Multiple Factor Analysis, which was weighed by the groups of variables in each characterization (e.g., nutritional, chemical). Combined variables (e.g., the  $C^*$  parameter calculated from  $a^*$  and  $b^*$ , or energy as the combination of macronutrients) were removed from the analysis. If a value was missing, it was replaced by the mean value of the variable.

### 2.3.3 Results and discussion

#### 2.3.3.1 Recipes and technological data

##### 2.3.3.1.1 Analysis of the recipes

Recipes for industrial soft bread contained more ingredients than homemade or artisanal recipes (**Table 14**,  $P = 0.002$ ). In particular, they typically contained numerous ingredients called adjuvants, whose role is to correct, improve, or facilitate bread production (Day et al., 2006; Otegbayo et al., 2018). Among these, we identified wheat gluten (8/10 industrial soft breads), acerola extract (7/10), soybean flour (6/10), vinegar

(5/10), and malted/fermented flours (2/10). Flavoring (either labeled as “natural” or not) was also added to 8 of the 10 industrial breads, but was not found in any of the homemade or artisanal recipes in our selection. On the other hand, semi-skimmed milk was only found in homemade recipes (6/8), in which it was used to improve the softness of the final product. Butter was used in 3 of the 4 artisanal recipes and 7 of the 8 homemade recipes, but was not used in the industrial recipes, in which it was replaced mainly with vegetable oil (sunflower or rapeseed).

Similarly, the industrial recipes contained more additives than those intended for home use ( $P = 0.046$  for the pairwise comparison). Only one artisanal recipe contained an antioxidant (in the flour), while the industrial recipes included up to seven additives, mainly texturants (7/15), preservatives (6/15), and antioxidants (2/15).

The proportion of fat in the recipes was lower for industrial breads compared to artisanal and homemade recipes ( $P = 0.004$ ). Specifically, industrial soft breads contained more vegetable fat than the other preparations (**Table 14**,  $P = 0.005$ ) but no animal fat (**Table 14**,  $P = 0.002$ ). These differences in formulation are likely explained by the economic cost of products like butter and their logistical demands (i.e., cold storage, short shelf life). The proportion of liquids (i.e., water and/or milk) was higher ( $P = 0.008$  for the pairwise comparison) in homemade recipes ( $31.4 \pm 5.9 \text{ g} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$  of recipe) compared to industrial ones ( $24.5 \pm 4.5$ ), but the proportion of flour did not appear to differ among methods ( $P = 0.073$ ) ( $63.5 \pm 7.2$ ,  $59.1 \pm 4.9$ , and  $57.3 \pm 4.5 \text{ g} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$  of recipe for industrial, artisanal, and homemade, respectively).

Overall, the main difference highlighted by our analysis was that certain ingredients were more characteristic of certain processing methods (e.g., adjuvants and additives for industrial breads, animal fats for artisanal and homemade breads).

#### 2.3.3.1.2 Calculation of the degree of processing

The first step of this task was to create a production diagram for each soft bread. For homemade breads, the instructions in the recipes (i.e., dough preparation, time and temperature for baking) were converted into a succession of unit operations; an example is given in **Figure 43**. We consulted professional bakers, academics, and experts on industrial baking in order to construct an accurate generic production diagram for artisanal soft bread and another for industrial soft bread.

Overall, the production diagrams of the three methods (displayed in **Figure 43**) are very similar, with major differences only in the production quantity and the equipment used. For example, dough division is not needed for homemade preparations because in most cases only a single loaf is prepared. For fermentation, a proofing cabinet or equivalent is available in the majority of industrial and artisanal facilities, but not in a home kitchen. The improved control of fermentation parameters in a professional setting allows the process to be accomplished more quickly and increases the level of standardization, which is essential for a commercial product.

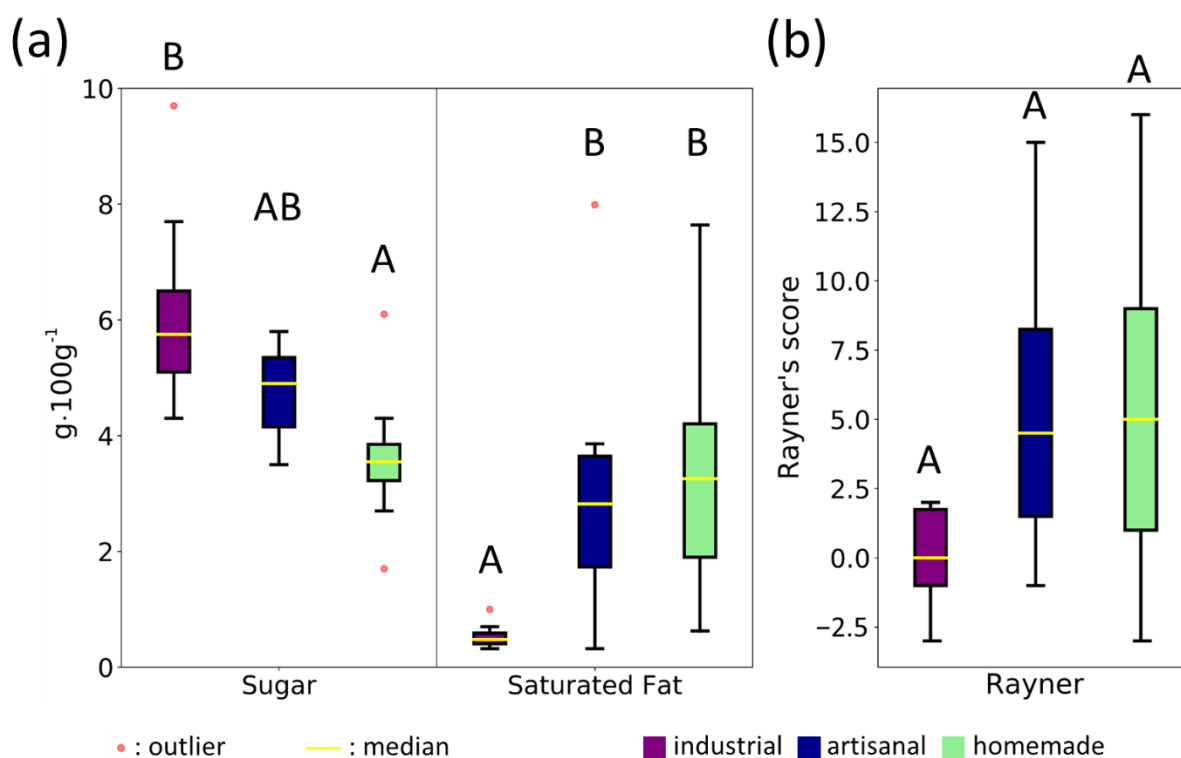
Due to these similarities, Process-Scores were not significantly different among the three methods of production (**Table 14**,  $P = 0.287$ ); they ranged from 40.49 to 41.82 for the 4 artisanal breads, from 40.22 to 45.70 for the 10 industrial breads, and from 36.37 to 45.45 for the 8 homemade breads. These scores reflected the broad correspondence among the production steps of the different methods, and, as discussed in section 3.3.1.1, the global similarity in recipe proportions (i.e.,  $60 \pm 6$  g of flour and  $22 \pm 8$  g of water per 100 g of recipe).

As discussed above, the highest variability among recipes was found in the use of minority ingredients such as adjuvants and additives. This was reflected in the NOVA classification values, which were always highest (NOVA4) for the industrial soft breads (**Table 13**). All of the homemade and artisanal breads were classified as NOVA3, with the exception of P1 (artisanal), which was classified as NOVA4 because it contained an additive and ingredients such as powdered egg yolk. These differences in classification reflected the use of additives and/or characteristic substances such as wheat gluten, dextrose, or flavorings (C. A. Monteiro et al., 2019), which highlights that, here, the NOVA classification was more indicative of the recipe formulation than the processing method.

### 2.3.3.2 Nutritional comparison

There were no differences among the three processing methods in terms of energy density ( $\text{kcal} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ ) or carbohydrate, fiber, protein, and salt content ( $\text{g} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ ) (**Table 14**,  $P = 0.501, 0.813, 0.523, 0.228,$  and  $0.333$ , respectively).

Industrial soft breads had lower levels of saturated fatty acids than artisanal and homemade breads (**Figure 44a** & **Table 14**,  $P = 0.002$ ). This is consistent with the recipe analysis in section 3.3.1.1, which highlighted more vegetable fat and less animal fat in the industrial recipes compared to the other two methods (**Table 13**). However, the observed differences in the recipes did not translate into a statistically significant difference in overall fat content in the nutritional analysis (**Table 14**,  $P = 0.075$ ). Finally, we found that industrial soft bread contained more sugar than homemade bread (**Figure 44a** & **Table 14**,  $P = 0.003$ ).



**Figure 44.** Nutritional comparison of the three processing methods. **(a)** Sugar and saturated fat content; **(b)** Rayner's nutritional quality score.

Data are represented by boxplots (1<sup>st</sup> & 3<sup>rd</sup> quartiles, median  $\pm$  1.5  $\times$  interquartile range for the whiskers), and statistically different groups are indicated with letters (according to post-hoc Tukey or Conover-Iman tests, respectively).

With respect to Rayner's score, no difference was detected in an overall analysis of the three processing methods (**Table 14**,  $P = 0.056$ ). However, industrial soft bread did tend to have a lower Rayner's score ( $0.0 \pm 1.8$ ) (i.e., better nutritional quality) compared to artisanal ( $5.5 \pm 5.9$ ) and homemade ( $5.4 \pm 6.2$ ) bread (**Figure 44b**).

It was not that surprising to find similar nutritional values among the breads examined here given the overall degree of similarity in the main ingredients in each recipe (**Table 13**). The subtle differences noted—such as in the use of butter, and to a lesser extent milk—probably explain why the industrial soft bread contained less saturated fat. The higher sugar content of industrial bread could also be explained by the use of certain ingredients, notably soybean flour, which contains more sugar than wheat flour.

### 2.3.3.3 Physical properties

#### 2.3.3.3.1 Comparison of the density and texture of soft bread

There were no significant differences among the three processing methods in terms of water content, density, or Young's modulus (**Table 14**,  $P = 0.221$ ,  $0.100$ , and  $0.329$ , respectively). Values of Young's modulus were on the same order of magnitude

as found in previous studies (Lassoued, 2005).

However, other physical properties did differ among the three groups. Values of  $F_{\max}$  appeared to be higher for homemade soft bread compared to artisanal (**Table 14**,  $P = 0.020$ ), meaning that the former was more firm. The percentage of relaxation was higher for industrial bread compared to homemade bread (**Table 14**,  $P = 0.040$ ), i.e., industrial bread was more elastic. This higher elasticity might be explained by the recipe formulation—for example, the use of texture additives such as emulsifiers (e.g., lactylates or mono- and diglycerides)—as well as better-controlled processing conditions that increase development of the bubble network. Additives such as reducing agents (e.g., ascorbic acid), and some enzymes categorized as processing aids (e.g.,  $\alpha$ -amylase) can also improve the elasticity of bread (Gioia et al., 2017), and are sometimes found in industrial recipes.

Although this comparison focused only on fresh bread, it would be interesting to carry out this characterization at different times after opening in order to compare the preservation of bread in a realistic context of home consumption.

#### 2.3.3.3.2 Color comparison of soft breads

No significant differences were found among the three processing methods for the color parameters  $L^*$  and  $a^*$  (**Table 14**,  $P = 0.577$  and  $0.426$ , respectively), meaning that there were no differences in terms of lightness ( $L^*$ ) or red and green shades ( $a^*$ ). For the  $b^*$  parameter, and therefore the chromaticity  $C^*$ , industrial soft bread had lower values than artisanal and homemade bread (**Table 14**,  $P = 0.013$  and  $0.014$ , respectively). In other words, industrial soft bread was less yellow ( $b^*$ ) and duller ( $C^*$ ) than artisanal and homemade bread.

The yellow coloration of artisanal and homemade bread might be explained by differences in the recipes (**Table 13**), especially in the proportions of butter and egg (especially egg yolk) used. Indeed, the  $b^*$  and  $C^*$  parameters both appeared to be correlated to the percentage of butter in the recipe ( $P = 0.008$  for both), with a Spearman correlation coefficient of  $0.398$ .

#### 2.3.3.4 Comparison of the volatile profiles of soft bread crumb

When comparing products with different compositions, the standard addition method of volatile compound analysis has the advantage of avoiding matrix effects but the disadvantage of being quite time-consuming. For this reason, only 11 of the 24 soft breads selected for this study were analyzed using the standard addition method (**Table 15**).

**Table 15.** Comparison of the six volatile molecules tested with the standard addition method (concentration in  $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) among the three processing methods. Mean values  $\pm$  standard deviation are shown for each method, with the *P* value of an ANOVA or Kruskal-Wallis test. Statistical groups determined by post-hoc test (Tukey or Conover-Iman, respectively) are indicated by letters. \* for  $P \leq 0.05$ , \*\* for  $P \leq 0.01$ , and \*\*\* for  $P \leq 0.001$ , in **bold** when below the threshold of 0.05.

Molecule	Industrial (n=5)		Artisanal (n=4)		Homemade (n=2)		P value
[3-hydroxybutan-2-one]	66,667.0 $\pm$ 36,947.9	A	112,252.7 $\pm$ 47,334.5	A	90,060.7 $\pm$ 20,794.9	A	0.286
[hexanal]	935.1 $\pm$ 522.7	A	450.3 $\pm$ 98.4	A	523.8 $\pm$ 102.2	A	0.178
[furan-2-carbaldehyde]	128.3 $\pm$ 129.4	A	191.7 $\pm$ 270.7	A	26.5 $\pm$ 2.9	A	0.767
[2,5-dimethylpyrazine]	0.8 $\pm$ 1.8	A	0.0 $\pm$ 0.0	A	15.8 $\pm$ 22.3	A	0.301
[2-pentylfuran]	1,581.9 $\pm$ 1,173.6	A	597.1 $\pm$ 450.0	A	831.7 $\pm$ 196.2	A	0.313
[ethyl octanoate]	193.7 $\pm$ 108.9	A	1,694.1 $\pm$ 1,417.8	B	251.9 $\pm$ 15.9	AB	<b>0.023*</b>

Concentrations of the different markers were consistent with the existing literature (Birch et al., 2013; Bratovanova, 1997; Petisca et al., 2014; Pu et al., 2020). Among the six molecules analyzed, differences in concentration among the three processing methods were noted only for ethyl octanoate, a marker of fermentation (Pico et al., 2015), which was less abundant in industrial compared to artisanal samples (Table 15,  $P = 0.024$ ). This molecule could thus be used as an indicator for the discrimination of artisanal soft bread.

Although these analyses did not highlight a strong impact of the processing methods on the selected markers, they did show that the matrix effect was relatively similar regardless of the bread under consideration; indeed, very similar slopes were observed for all calibration curves. We therefore chose to semi-quantitatively compare the areas under the curve for all the identified molecules (Table 16) to obtain a richer, more detailed characterization of the effects of the different processing methods on all 24 soft breads. Of the 81 volatile molecules analyzed, 46 demonstrated differences among the three production methods with respect to the areas under the curve (Table 16). Therefore, it seemed possible that the overall profile of some or all of these 46

molecules might facilitate the prediction of processing method(s). To investigate this, we conducted a Principal Component Analysis using the concentrations of these 46 molecules (**Figure 45**) and found that, globally speaking, it was possible to discriminate between industrial and homemade soft bread. In contrast, the different examples of artisanal soft bread constituted a more heterogeneous group. When we repeated this process using all 81 molecules, the results were very similar ( $F1 + F2 = 49.25\%$ , data not shown).

**Table 16.** Areas under the curve of the intensity-retention time plot ((mean  $\pm$  standard deviation).10<sup>3</sup>) for the 46 volatile molecules that demonstrated significant differences among processing methods.

Compounds are displayed by their IUPAC (International Union of Pure and Applied Chemistry) names and chemical classifications. Kovats retention indexes were taken from PubChem and consolidated with data from the National Institute of Standards and Technology database for a semi-standard non-polar column. *n* is the total number of soft breads sampled. Molecules that are underlined were treated by EIC; all others were treated by TIC. Mean values  $\pm$  standard deviation are shown for each method, with the *P* value of an ANOVA or Kruskal-Wallis test. Statistical groups determined by post-hoc test (Tukey or Conover-Iman, respectively) are indicated by letters. Groups with the same letter are not statistically different. \* for  $P \leq 0.05$ , \*\* for  $P \leq 0.01$ , and \*\*\* for  $P \leq 0.001$ , in **bold** when below the threshold of 0.05.

Compound	CAS Number	Chemical classification	Kovats Retention Index	Retention time (min)	Industrial (n=10)		Artisanal (n=6)		Homemade (n=8)		P value
Not identified	/	?	?	3.70 $\pm$ 0.05	17,271.0 $\pm$ 4,088.3	B	13,682.6 $\pm$ 6,470.0	AB	9,075.4 $\pm$ 4,849.0	A	<b>0.009**</b>
<u>acetic acid</u>	64-19-7	Carboxylic acid	619 $\pm$ 22	7.80 $\pm$ 0.14	465.0 $\pm$ 644.7	B	22.0 $\pm$ 50.7	A	0.1 $\pm$ 0.0	A	<b>0.001***</b>
<u>butan-2-one</u>	78-93-3	Ketone	587 $\pm$ 23	8.18 $\pm$ 0.07	68.6 $\pm$ 31.0	B	42.4 $\pm$ 36.2	AB	17.9 $\pm$ 14.4	A	<b>0.004**</b>
ethyl acetate	141-78-6	Ester	609 $\pm$ 13	8.77 $\pm$ 0.06	3,809.0 $\pm$ 4 835.0	B	493.5 $\pm$ 375.8	A	1,549.3 $\pm$ 1,284.3	AB	<b>0.050*</b>
pentan-2-one	107-87-9	Ketone	679 $\pm$ 22	11.82 $\pm$ 0.06	5.2 $\pm$ 8.0	A	91.9 $\pm$ 161.6	B	84.2 $\pm$ 74.5	B	<b>0.001***</b>



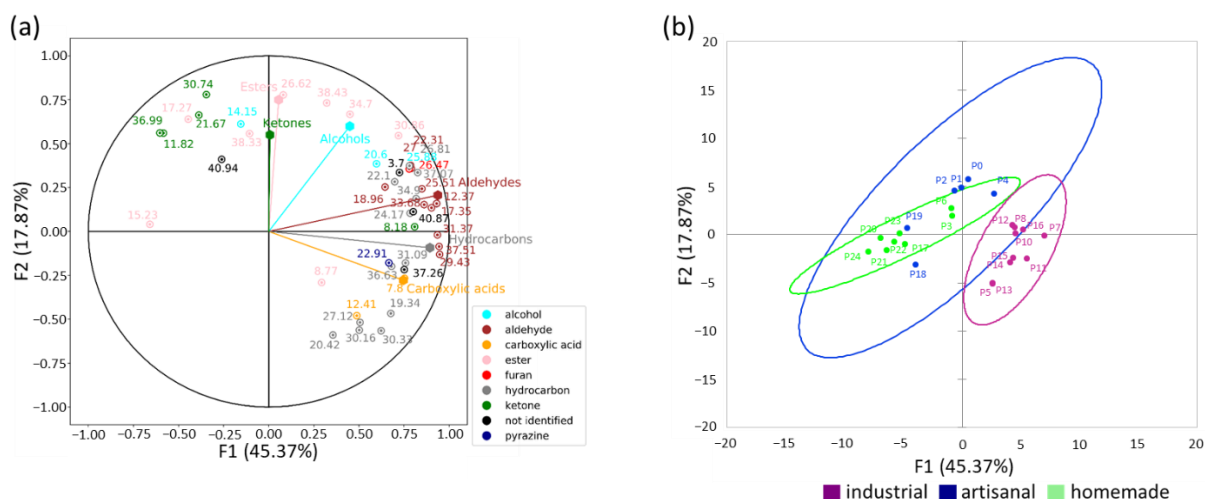
<u>pentanal</u>	110-62-3	Aldehyde	698 ± 14	12.37 ± 0.05	281.9 ± 204.8	B	108.9 ± 69.7	A	46.2 ± 40.5	A	<b>0.001***</b>
<u>propanoic acid</u>	79-09-4	Carboxylic acid	704 ± 24	12.41 ± 0.64	2,523 ± 4 230.1	B	0.1 ± 0.0	A	0.1 ± 0.0	A	<b>0.005**</b>
3-methylbutan-1-ol	123-51-3	Alcohol	738 ± 11	14.15 ± 0.08	10,972.8 ± 6,670.7	A	18,993.2 ± 7 235.3	A	21,881.2 ± 11,862.3	A	<b>0.043*</b>
ethyl 2-methylpropanoate	97-62-1	Ester	755 ± 10	15.23 ± 0.05	1.5 ± 1.4	A	6.6 ± 12.6	A	54.3 ± 53.5	B	<b>0.002**</b>
<u>ethyl butanoate</u>	105-54-4	Ester	798 ± 10	17.27 ± 0.04	3.9 ± 1.6	A	48.3 ± 56.8	B	24.6 ± 12.7	B	<b>0.003**</b>
<u>hexanal</u>	66-25-1	Aldehyde	797 ± 34	17.35 ± 0.05	918.4 ± 489.1	B	375.6 ± 235.7	A	184 ± 180.9	A	<b>0.001***</b>
furan-2-carbaldehyde	98-01-1	Aldehyde	830 ± 53	18.96 ± 0.07	197.1 ± 213.6	B	277.3 ± 506.4	B	12.1 ± 21.6	A	<b>0.007**</b>
2,4-dimethylhept-1-ene	19549-87-2	Hydrocarbon	838 ± 10	19.34 ± 0.02	298.1 ± 339.7	B	1.4 ± 0.9	A	1.2 ± 0.3	A	<b>0.002**</b>
4-methyloctane	2216-34-4	Hydrocarbon	863 ± 3	20.42 ± 0.03	33.4 ± 38.0	B	1.7 ± 1.7	A	2.0 ± 1.3	AB	<b>0.028*</b>

hexan-1-ol	111-27-3	Alcohol	865 ± 50	20.60 ± 0.06	823.6 ± 563.0	B	779.0 ± 341.5	B	299.4 ± 221.7	A	<b>0.021*</b>
heptan-2-one	110-43-0	Ketone	888 ± 11	21.67 ± 0.05	126.7 ± 71.4	A	868.5 ± 1,084.4	AB	658.3 ± 487.2	B	<b>0.021*</b>
styrene	100-42-5	Hydrocarbon	837 ± 197	22.10 ± 0.05	122.6 ± 80.7	B	80.1 ± 58.1	AB	51.0 ± 44.1	A	<b>0.039*</b>
heptanal	111-71-7	Aldehyde	897 ± 46	22.31 ± 0.04	490.9 ± 321.5	B	443.6 ± 357.1	AB	162.8 ± 129.5	A	<b>0.009**</b>
<u>2,5-dimethylpyrazine</u>	123-32-0	Pyrazine	916 ± 12	22.91 ± 0.05	11.3 ± 13.1	B	3.1 ± 1.3	AB	1.9 ± 2.8	A	<b>0.003**</b>
2,6,6-trimethylbicyclo[3.1.1]hept-2-ene	80-56-8	Hydrocarbon	936 ± 8	24.17 ± 0.02	218.8 ± 247.9	B	33.0 ± 46.9	AB	3.4 ± 3.9	A	<b>0.002**</b>
<u>benzaldehyde</u>	100-52-7	Aldehyde	954 ± 80	25.51 ± 0.06	435.8 ± 181.0	B	229.8 ± 203.9	AB	151.1 ± 209.3	A	<b>0.015*</b>
oct-1-en-3-ol	3391-86-4	Alcohol	980 ± 7	25.88 ± 0.04	74.2 ± 110.5	B	34.0 ± 20.6	AB	22.5 ± 38.3	A	<b>0.035*</b>
2-pentylfuran	3777-69-3	Furan	992 ± 6	26.47 ± 0.03	546.1 ± 277.5	B	378.3 ± 141.5	AB	174.8 ± 208.8	A	<b>0.010**</b>

ethyl hexanoate	123-66-0	Ester	994 ± 67	26.62 ± 0.04	136.6 ± 71.9	A	758.3 ± 595.2	B	165.5 ± 106.1	AB	<b>0.043*</b>
decane	124-18-5	Hydrocarbon	1000	26.81 ± 0.02	294.4 ± 763.9	B	73.0 ± 112.4	AB	16.6 ± 11.6	A	<b>0.014*</b>
octanal	124-13-0	Aldehyde	998 ± 63	27.00 ± 0.04	118.3 ± 68.5	B	66.2 ± 74.4	AB	20.5 ± 29.1	A	<b>0.03*</b>
2,6-dimethylnonane	17302-28-2	Hydrocarbon	1020 ± 4	27.12 ± 0.11	82.4 ± 99.9	B	1.0 ± 0.0	A	1.0 ± 0.0	A	<b>0.016*</b>
(E)-oct-2-enal	2548-87-0	Aldehyde	1059 ± 8	29.43 ± 0.01	151.2 ± 138.8	B	15.4 ± 17.4	A	8.3 ± 13.7	A	<b>0.0001***</b>
Not identified	/	Hydrocarbon	?	30.16 ± 0.02	145.1 ± 152.1	B	1.6 ± 0.9	A	2.2 ± 2.4	A	<b>0.007**</b>
Not identified	/	Hydrocarbon	?	30.33 ± 0.01	121.5 ± 124.3	B	1.0 ± 0.0	A	1.0 ± 0.0	A	<b>0.002**</b>
nonan-2-one	821-55-6	Ketone	1085 ± 73	30.74 ± 0.03	25.0 ± 35.2	A	245.3 ± 245.6	B	116.0 ± 79.9	B	<b>0.012*</b>
<u>ethyl heptanoate</u>	106-30-9	Ester	1 095 ± 9	30.86 ± 0.02	9.0 ± 7.2	B	19.5 ± 20.4	A	1.3 ± 1.4	A	<b>0.007**</b>
Not identified	/	Hydrocarbon	?	31.09 ± 0.01	746.2 ± 1 744.6	B	16.0 ± 11.9	A	11.8 ± 13.9	A	<b>0.005**</b>

nonanal	124-19-6	Aldehyde	1101 ± 40	31.37 ± 0.04	401.6 ± 137.3	C	199.1 ± 151.7	B	71.9 ± 96.5	A	<b>0.0005***</b>
(E)-non-2-enal	18829-56-6	Aldehyde	1162 ± 7	33.68 ± 0.03	74.9 ± 27.5	B	48.2 ± 46.8	B	7.6 ± 13.2	A	<b>0.001***</b>
ethyl octanoate	106-32-1	Ester	1 188 ± 93	34.70 ± 0.02	318.5 ± 156.7	AB	1,989.5 ± 1 875.4	B	135.5 ± 123.7	A	<b>0.014*</b>
dodecane	112-40-3	Hydrocarbon	1200	34.90 ± 0.01	414.5 ± 129.5	B	33.6 ± 44.2	AB	10.7 ± 7.1	A	<b>0.005**</b>
Not identified	/	Hydrocarbon	?	36.63 ± 0.01	42.2 ± 46.9	B	4.1 ± 4.2	AB	3.4 ± 5.3	A	<b>0.020*</b>
undecan-2-one	112-12-9	Ketone	1286 ± 84	36.99 ± 0.03	1.1 ± 0.2	A	59.2 ± 76.6	B	14.2 ± 13.6	B	<b>0.002**</b>
tridecane	629-50-5	Hydrocarbon	1300	37.07 ± 0.01	172.8 ± 312.4	B	35.0 ± 30.9	AB	14.6 ± 24.5	A	<b>0.013*</b>
Not identified	/	?	?	37.26 ± 0.01	60.7 ± 49.7	B	12.3 ± 8.8	AB	7.8 ± 11.2	A	<b>0.006**</b>
(2E,4E)-deca-2,4-dienal	25152-84-5	Aldehyde	1318 ± 10	37.51 ± 0.02	256.8 ± 267.5	B	21.2 ± 10.4	A	14.7 ± 21.1	A	<b>0.0001***</b>
ethyl dec-9-enoate	67233-91-4	Ester	1 387 ± 2	38.33 ± 0.02	1.2 ± 0.7	A	72.5 ± 60.3	B	1.8 ± 1.8	A	<b>0.004**</b>

ethyl decanoate	110-38-3	Ester	1378 ± 141	38.43 ± 0.02	25.7 ± 21.3	AB	232.8 ± 259.2	B	15.8 ± 12.6	A	<b>0.041*</b>
Not identified	/	?	?	40.87 ± 0.02	67.7 ± 16.1	B	44.2 ± 41.0	AB	13.5 ± 23.4	A	<b>0.004**</b>
Not identified	/	?	?	40.94 ± 0.00	368.0 ± 134.2	A	604.9 ± 200.5	B	463 ± 152.9	AB	<b>0.025*</b>



**Figure 45.** Representation of the correlations among the different volatile molecules in the 24 soft breads through a Principal Component Analysis (F1 + F2 = 63.24%) of areas under the curve. **(a)** Representation of 46 volatile molecules, separated into chemical families and labeled according to their mean retention time in **Table 16**; **(b)** Biplot of the 24 soft breads, displayed by processing method, with 95% confidence ellipses.

Only one molecule, nonanal, demonstrated clear differences among each of the three processing methods: the highest concentrations were found in industrial samples and the lowest in homemade samples, with artisanal breads in between (**Table 16**,  $P = 0.0005$ ). Because nonanal is related to lipid oxidation and the amount of yeast present (Pico et al., 2015), these results possibly reflect the higher amount of unsaturated fat (vegetable oils rather than butter) in industrial breads (**Table 13** & **Table 14**) reported in section 3.3.2. With respect to furans, industrial bread had higher concentrations of 2-pentylfuran (**Table 16**,  $P = 0.01$ ) than homemade and artisanal bread, which could also be evidence of increased lipid oxidation in the industrial context (Cepeda-Vázquez et al., 2018). The same trend was observed for most of the other aldehydes (e.g., pentanal, hexanal, benzaldehyde), which were all found in higher concentrations in industrial soft breads (**Table 16** & **Figure 45**,  $P = 0.001$ ,  $0.001$ , and  $0.015$ , respectively). These differences might be related to storage time (Jensen et al., 2011), which is longer for industrial bread due to the inherent constraints of production, or to more intense kneading (Xi et al., 2021).

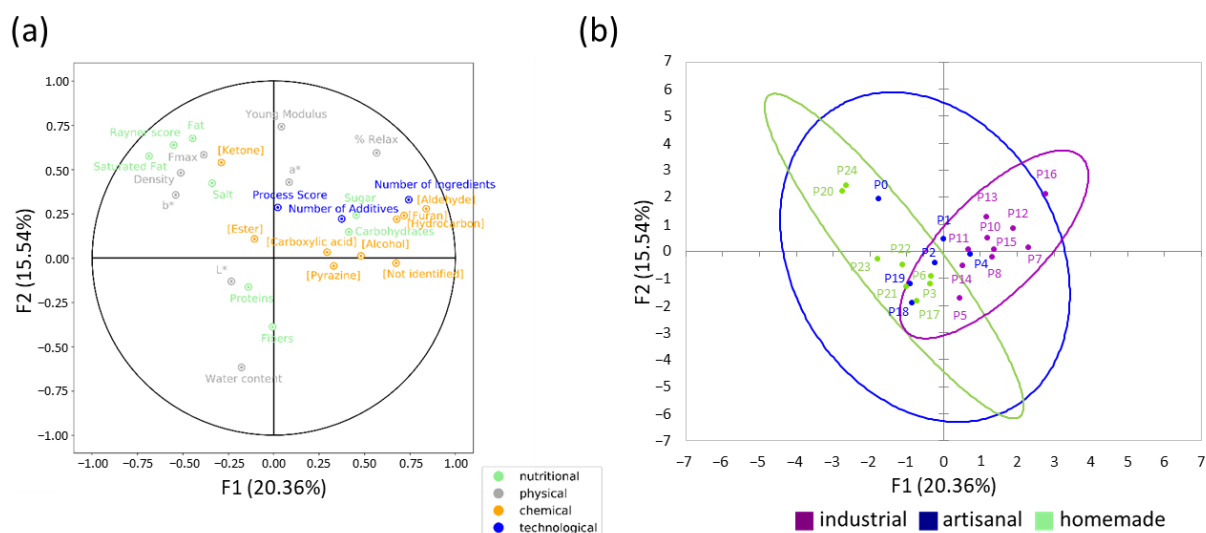
Another interesting result was found for propanoic acid (CAS number 79-09-4), which was not detected in artisanal and homemade soft bread but was clearly present in industrial samples that contained the E280 additive (**Table 13** & **Table 14**,  $P = 0.005$ ). The other carboxylic acid detected in the samples was acetic acid, which also appeared to be more concentrated in industrial bread (**Table 14**,  $P = 0.001$ ); this was consistent with the fact that the industrial recipes were the only ones that included vinegar (**Table 13**). These compounds are involved in many pathways (Pico et al., 2015), but higher concentrations could reflect acidification related to strong fermentation activity,

perhaps from the use of higher concentrations of yeast in order to reduce the time of production.

Certain esters (e.g., ethyl octanoate, ethyl butanoate) appeared to be more abundant in artisanal soft bread (**Table 16 & Figure 45**), which could also be reflective of more intense fermentation (Birch et al., 2013; Nor Qhairul Izzreen et al., 2016).

Products of the Maillard reactions, such as 2,5-dimethylpyrazine, furan-2-carbaldehyde, and 2-pentylfuran, were less abundant in homemade bread (**Table 16**,  $P = 0.003, 0.007, \text{ and } 0.01$ , respectively). This would suggest that the Maillard reactions are less intense in homemade soft bread compared to the other methods, possibly due to a lower baking temperature, the type of sugar used, or even the lower amount of yeast, which would release fewer free amino acids than in other processing methods (Nor Qhairul Izzreen et al., 2016).

Globally speaking, it was possible to differentiate between homemade and industrial soft bread on the basis of their profiles of volatile compounds, while artisanal and homemade bread were more similar overall (**Figure 46b**). There are several possible explanations for the observed differences. Fermentation appears to be longer and/or more intense in artisanal soft bread, while lipid oxidation seems to be more important in industrial bread, despite the presence of antioxidants and preservatives to lengthen shelf life. These differences may also translate into alterations in organoleptic perceptions (Pico et al., 2015). Finally, the Maillard reactions seem to be more intense in industrial soft bread; this could increase concentrations of the carcinogens furan and/or 5-hydroxymethylfurfural, with potential consequences for health (Fromberg et al., 2014).



**Figure 46.** Multiple Factorial Analysis (F1 + F2 = 35.89%). **(a)** Representation of the correlations among the different variables quantified in each type of analysis (nutritional = Rayner, Total fat, Saturated Fat, Total carbohydrate, Sugar, Fibers, Proteins, Salt; physical = Density, F<sub>max</sub>, percentage of relaxation, Young's modulus, L\*, a\*, b\*, water content; chemical = 46 volatile molecules (**Table 16**), represented by their nine chemical families; technological = Process-Score, number of ingredients, number of additives—with the same weight for each of the four groups); **(b)** Biplot of the 24 soft breads in this representation, presented according to processing method.

### 2.3.4 Conclusion

This work aimed to compare industrial, artisanal, and homemade methods of processing and characterize their impacts on the technological, nutritional, and physicochemical properties of soft bread (**Figure 46**). The experimental approach was deliberately designed to incorporate the realistic variability in products available to consumers. Indeed, we chose not to compare the same recipe prepared with different processes because this does not correspond to a real-world situation for consumers. To this end, 24 different types of soft bread (10 industrial, 6 artisanal, and 8 homemade) were studied.

This study demonstrates that it is neither simple nor straightforward to distinguish among industrial, artisanal, or homemade methods of preparation. Nevertheless, we were able to identify two distinct clusters for industrial and homemade soft breads based on their profiles of volatile molecules. Our analysis of bread crumb revealed higher concentrations of aldehydes in industrial bread, which hinted at the presence of more lipid oxidation. Esters were detected in higher concentrations in artisanal bread, which would suggest stronger fermentation. Finally, it seems that Maillard reactions might be less intense in homemade soft bread.

In addition, certain ingredients were found to be characteristic of certain methods of processing, such as the adjuvants found in industrial formulations or animal



fats in artisanal and homemade breads. Our analysis of the degree of processing did not reveal any prominent dissimilarities, as the main unit operations were unchanged in all three methods.

Broadly speaking, nutritional values did not differ among the three methods, as the overall framework of each bread recipe remained largely the same. However, subtle differences did emerge, such as the higher sugar content of industrial soft bread compared to homemade. Industrial bread also appeared to contain less saturated fat than homemade and artisanal versions.

With respect to physical properties, values of Young's modulus were similar for the three groups of bread. However, industrial soft bread appeared to be less yellow ( $b^*$ ), duller ( $C^*$ ), and more elastic than the two other methods. Instead, homemade soft bread was firmer than artisanal versions.

The novelty of our approach is that it emphasizes the diversity within the category of soft bread. It would be interesting to use a similar approach on a larger sample set than the 24 breads examined here to see if it reinforces the trends we observed or reveals new differences.

In the future, the multicriteria mapping approach used here could be further enhanced with data on the sensory profiles of different soft breads, as well as with an investigation of contaminants (e.g., pesticides, mycotoxins, residual compounds coming from contact material), which can have important repercussions on health. Another interesting next step would be to study how differences between processing methods are perceived and addressed by consumers. It would also be illuminating to apply the Process-Score methodology to other common foods to better distinguish between dietary effects related to processing and those related to formulation.

### **Supplementary materials**

The following supporting information can be downloaded at: <https://www.mdpi.com/article/10.3390/foods11101484/s1> (**Supplementary Tables 2** et **3** included in the manuscript).

### **Author contributions**

Conceptualization, I.S., A.S.-E. and B.M.; software, P.L.; formal analysis, B.M. and P.L.; investigation, B.M. and A.P.; data curation, B.M.; writing—original draft preparation, B.M.; writing—review and editing, I.S., A.S.-E. and A.P.; visualization, B.M.; supervision, I.S., A.S.-E. and A.P.; project administration, I.S. and A.S.-E.; funding acquisition, I.S. and A.S.-E. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

### **Conflicts of interest**

The authors declare no conflict of interest.

## **Funding**

This research was funded by Qualiment<sup>®</sup> supported by the ANR (agreement #20 CARN 0026 01), in the framework of its call for scientific resourcing projects 2019, and a Ph.D. grant to Bastien Maurice, co-funded by the French National Institute for Agricultural Research (INRAE) and the doctoral school ABIES of the Paris-Saclay University.

## **Acknowledgments**

The authors would like to thank David Forest, Anne-Claire Péron, and Émilie Ouvrard for their crucial technical support, as well as Lindsay Higgins for correcting the English of the manuscript.

Cette dernière section a décrit la variabilité au sein de la famille des pains de mie sur des critères de recettes, degrés de transformation, caractéristiques nutritionnelles et physico-chimiques. Par exemple, les diagrammes de production se sont avérés relativement similaires entre les trois modes de transformation, là où les formulations présentaient des différences notables.

Ces résultats ont permis de comprendre comment ces critères étaient impactés par les transformations faites au niveau industriel, artisanal et à domicile, en lien avec la question de recherche Q1.

En somme, ce premier chapitre de résultats a présenté la méthodologie du Process-Score, développé afin de caractériser le degré de transformation des aliments. Ce dernier a été appliqué à des pizzas et des pains de mie industriels afin de cartographier l'offre alimentaire pour ces deux espaces produits. Cette démarche a notamment permis de mettre en lumière la grande disparité au sein d'un même espace produit. Des corrélations ont également été mises en évidence, notamment entre composition et Process-Score. Finalement, les modes de production (industriel, artisanal et à domicile) ont été comparés pour le pain de mie. Leur comparaison a révélé à la fois des similarités (e.g., diagrammes de production semblables) et des spécificités (e.g., pains de mie industriels avec le moins d'acides gras saturés).

L'enjeu est désormais de croiser ces paramètres avec les perceptions des consommateurs, ainsi que leurs préférences (Figure 27e).

### COMPRENDRE LES LIENS ENTRE PROPRIÉTÉS, PERCEPTIONS ET MODES DE TRANSFORMATION ?

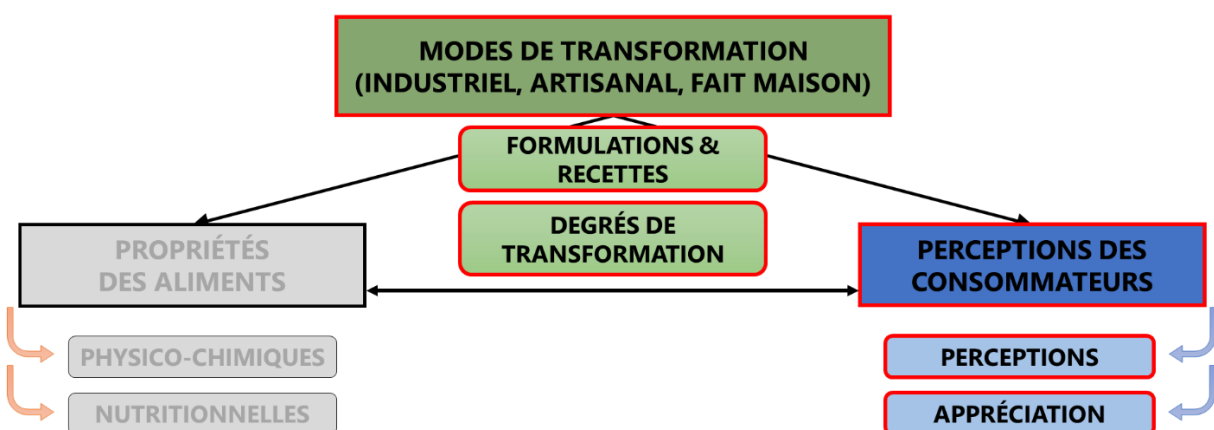
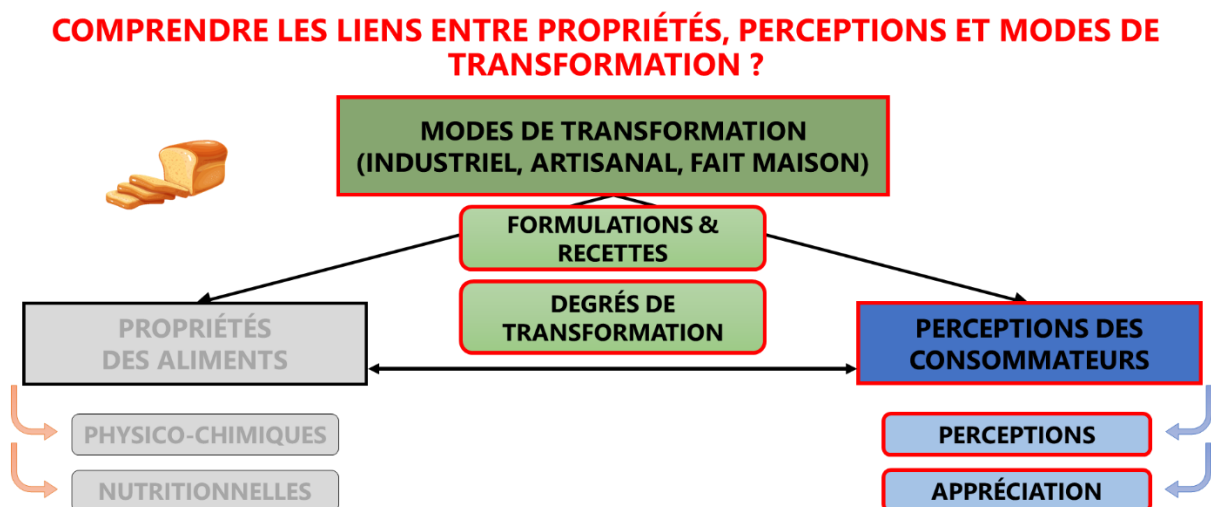


Figure 27e. Démarche abordée dans le chapitre 3 pour répondre aux questions de recherche.

### 3 CHAPITRE 3. COMPRENDRE LES PERCEPTIONS ET LES PRÉFÉRENCES DES CONSOMMATEURS

Ce second et dernier chapitre de résultats se concentre davantage sur les perceptions et les préférences des consommateurs. Afin de mieux comprendre ces dernières, des pains de mie fabriqués selon différents modes de transformation ont été proposés à 65 consommateurs en section 3.1, avec une étude de l'impact des informations nutritionnelles et technologiques sur ces perceptions. La section 3.2 prendra plus particulièrement l'exemple de la pizza afin d'étudier l'impact du mode de transformation des pizzas sur les attentes des consommateurs via une étude en ligne ayant interrogé 1 000 consommateurs. Finalement, une étude expérimentale impliquant 69 consommateurs permettra d'étudier l'influence du mode de préparation des pizzas sur les préférences et perceptions des consommateurs (section 3.3).

Nous commencerons par présenter en section 3.1 les préférences et perceptions des consommateurs pour le pain de mie (industriel, artisanal et fait maison), afin de répondre aux enjeux présentés en **Figure 27f**, en lien avec les questions de recherche Q3 et Q4.



**Figure 27f.** Démarche abordée dans la section 3.1 pour répondre aux questions de recherche.

### 3.1 COMPRENDRE LES PRÉFÉRENCES ET PERCEPTIONS DES CONSOMMATEURS POUR LES PAINS DE MIE ET COMMENT CELA EST INFLUENCÉ PAR L'INFORMATION

Ce chapitre est repris d'un article soumis à *Journal of Sensory Studies*.

#### How differently are industrial, artisanal and homemade soft breads perceived by consumers?

**Bastien Maurice<sup>1</sup>, Isabelle Souchon<sup>2</sup>, Aurélia Pernin<sup>1</sup>, and Anne Saint-Eve<sup>1,\*</sup>**

<sup>1</sup> Univ Paris-Saclay, UMR SayFood, AgroParisTech, INRAE, F-78850 Thiverval-Grignon, France

<sup>2</sup> Avignon Univ, UMR SQPOV, INRAE, F-84000 Avignon, France

\* Corresponding author: anne.saint-eve@agroparistech.fr

#### Highlights

- Homemade soft breads were perceived as the most natural and healthiest.
- Nutritionally, industrial breads were perceived to be worst, but had the top scores.
- Perceptions of processing reflected the use of additives/artificial ingredients.
- > 80% of the panel recognized the industrial soft breads, but confused the others.
- Views on natural/local origin or cost shifted in the informed versus blind tasting.

#### Abstract

The different methods used to prepare bread in artisanal, industrial, or home settings affect both the qualities (e.g., nutritional, physical, sensorial) and consumer expectations of bread. Our objective was to study how consumers' attitudes toward soft bread are influenced by their views of different processing methods.

For six products—two different examples of industrial, artisanal, and homemade soft breads—65 participants scored their appreciation on a 7-point hedonic scale, and rated different perceptions (e.g., naturalness, healthiness) on 5-point Likert scales. Products were first evaluated in a blind tasting, then again with accompanying information on the nutritional and processing aspects of each bread.

In both blind and informed tastings, industrial soft breads were perceived as containing more additives and being less natural, less healthy, and cheaper than artisanal and homemade versions. These breads were also less appreciated overall. Artisanal breads were perceived as drier and with a shorter shelf life. Homemade breads felt denser, and were expected to cost more.

After receiving explanatory information, consumers reduced their scores for processing degree and the estimated number of additives for all processing methods. In both blind

and informed tastings, industrial breads were perceived as having the worst nutritional properties, even though they had the best Nutri-Scores. The informational flyers improved consumers' perception of the nutritional qualities of industrial breads, but it never exceeded that of homemade and artisanal breads.

This experiment highlights the influence of composition and processing information on consumers' perceptions, which could be used to improve the perceived value of products.

**Keywords:** sandwich bread; behavior; processing; perception; preference; liking

### 3.1.1 Introduction

A given food product can often be prepared using different recipes, at different scales, and with different methods of production. For example, numerous products are prepared in industrial, artisanal, and home settings. The resulting differences in formulation and degree of processing can influence not only objective outcomes such as nutritional content but also consumers' perceptions of the final product (Battacchi et al., 2020).

In recent years, there has been a substantial increase in consumer demand for products that are more "natural", locally produced, or homemade. Research has illustrated how consumers' perceptions of naturalness or healthiness are affected by the method of production, through associations with different processes of transformation and modification or the distance to the raw ingredients (Abouab & Gomez, 2015). References to homemade production and images of natural foods create a health halo, with a positive effect on perceived healthfulness (Devia et al., 2021), which can be explained by the health benefits linked with the consumption of raw food products like fruits or vegetables (Ares, Aschemann-Witzel, Curutchet, Antúnez, Machín, Vidal, & Giménez, 2018, 2018; Rekhy & McConchie, 2014). Homemade food products are often perceived as tastier and healthier than industrial foods; they receive higher appreciation scores and are more strongly associated with happiness, family, and authenticity (Ares, Aschemann-Witzel, Curutchet, Antúnez, Machín, Vidal, Martínez, et al., 2018; Ares, Aschemann-Witzel, Vidal, et al., 2018; Moisio et al., 2004; Petridou, 2001).

This increase in demand for more natural and less processed products (Nielsen, 2016), however, is occurring in the larger context of an increase in the availability and consumption of processed foods. Indeed, there is a worldwide trend toward more processed foods, with the highest sales in Australia, North America, Europe, and Latin America, and rapid growth in Asia, the Middle East, and Africa (Baker et al., 2020). The benefit of processed food production is that it meets the expectations and needs of contemporary lifestyles and can provide a stable, year-round source of varied, safe, and healthy food. However, a growing body of evidence has linked industrial food and the consumption of ultra-processed foods with reduced diet quality (e.g., more energy

density, more fat, less vitamins) (Martini et al., 2021) and deleterious health outcomes (e.g., obesity, cancer, mortality) (Costa de Miranda et al., 2021). In this context, it is important to understand how consumers' knowledge of food processing might influence their perceptions and appreciation for food products.

Currently, consumers have different types of information available on food packaging (e.g., quality labels, type of production, nutritional composition) to help in decision-making. Indeed, in Europe and especially in France, public health authorities and industry members have recently improved efforts to offer accessible information directly on food packaging (in addition to the already-mandatory ingredient list and nutritional facts, according to EU regulation 1169/2011) through the use of the Nutri-Score. This reflects a high degree of interest from consumers in what they buy and eat, and a demand for transparency (Freeman, 2015). It is important to note, though, that many artisanal products are outside the scope of this European regulation, resulting in a legally ambiguous situation in which consumers have more information about some products than others. Broader access to such information would improve consumer knowledge of these products, especially for cases in which purchasing choices are steered by labels, and could eventually allow consumers to improve their diet quality (Wills et al., 2009). This type of information might also ultimately have an impact on consumers' preferences and perceptions of products (Cranage et al., 2004; W. J. Lee et al., 2013). However, such perceptions, and changes in them, are not easy to measure and quantify. The challenge addressed by this study is to go beyond the images conveyed by different modes of production and, using a real product tasting, to take into account the impact of this information on the expectations and perceptions of products.

One of the most common methods for obtaining insight into what consumers think about processed foods is the use of questionnaires. Indeed, the existing literature provides multiple examples focused on consumers' perceptions regarding these topics. For example, the 2017 review of Román et al. identified 72 studies examining perceptions of naturalness and related topics among a total of 85,348 consumers in 32 countries (Román et al., 2017), from which the vast majority of data was obtained from declarative questionnaires. While useful, questionnaires typically do not provide the same type of information as an organized real-life tasting, which can help to capture, as closely as possible, what consumers have in mind, as well as to compare the assessment of their perceptions to the result of the tasting.

Multiple studies have examined how labels can influence consumers' perceptions. For example, within groups of highly similar products (i.e., cookies, potato chips, and yogurt), items with an organic label were perceived as having better nutritional properties (e.g., less calories, higher in fiber) (W. J. Lee et al., 2013). In a similar way, health statements on the label (i.e., "may reduce the risk of heart disease") improved the acceptability of fortified bread (Moriarty et al., 2010), and a panel of 123 French consumers seemed willing to pay 12% more for a baguette that was labeled a

“source of fiber” (Ginon et al., 2009). Furthermore, the presence of information about the type of flour used (i.e., organic or conventional) and claimed health effects (regarding cholesterol) were shown to affect how much consumers liked bread (Kihlberg et al., 2005). Thus, by providing information on food composition or processing, it may be possible to guide consumers toward a diet that is healthier and better for the environment.

Soft bread was chosen as a food model in this study because it is a mass-marketed food product that forms an important part of the traditional French diet. It is consumed by 86% of the French population (QualiQuanti, 2021), on average once a week (Craveur & Nov, 2020), and is widely consumed in many other countries. Soft bread is obtained through a multi-step process that transforms wheat to make it digestible, and is a well-appreciated product that is perceived as healthy by most consumers (Sandvik et al., 2018).

The objective of this study was to better understand consumers’ perceptions toward similar products obtained using different processing methods (i.e., industrial, artisanal, and homemade), and to examine how such perceptions and appreciation can be modulated by information on processing and nutritional content. This work compares the results of both blind and informed tastings in an attempt to further our understanding of the drivers of perceptions and liking. In addition, a sensory comparison between industrial, artisanal, and homemade soft bread has not, to our knowledge, been previously documented, and might produce data useful for product development and advertising.

### 3.1.2 Materials and methods

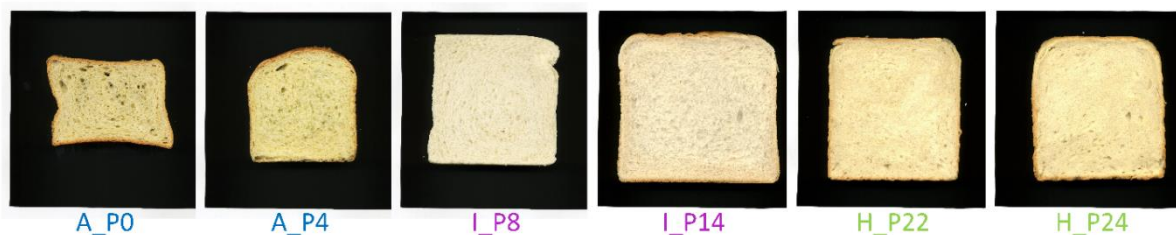
#### 3.1.2.1 Industrial, artisanal and homemade soft bread

For this study, two industrial breads were selected from French supermarkets, two artisanal breads were purchased from local bakeries (Yvelines area, France), and two homemade breads were prepared from popular online recipes.

##### 3.1.2.1.1 Soft bread selection and logistics

Two examples of each type of soft bread (industrial, artisanal, and homemade) were included in this study in order to take into account the variety within the broader category of soft bread, as described more thoroughly in previous work (*cf.* section 2.2). Details of their recipes, processing information, and nutritional values are presented in **Table 17**. Square molds were used to bake the homemade soft breads to give them a shape comparable to the industrial and artisanal breads. Artisanal and homemade soft breads were sliced with a slicing machine (F372, Krups, Solingen, Germany) set at 20 to match the size of the industrial slices (around 1.2 cm) (**Figure 47**). Just before the sensory evaluation, the slices were cut lengthwise in two and placed on individual white plates.





**Figure 47.** Cross-sectional slices of the six soft breads (shown at the same scale), obtained by scanning under identical conditions (Epson GT-1500, 600 dpi).

The tasting was conducted on fresh bread, i.e., at least one week before the date of minimum durability indicated on the packaging and less than a day after opening for industrial loaves, less than a day after purchase for artisanal loaves, and less than a day after baking for homemade loaves.

**Table 17.** Details of the recipes, processing information and nutritional values for the six selected soft breads.

NA: not available.

Soft bread	Recipe: Ingredient & Quantity (if known)	Number of ingredients (including flavoring)	Number of additives	NOVA	Energy density	Protein	Carbohydrate	including Sugar	Total Fat	including Saturated Fat	Fiber	Salt	Rayner's score	Nutri-Score
					kcal per 100g	g per 100g								
P8 (industrial)	Wheat flour (63%), water, sugar, rapeseed oil, bean flour, yeast, salt, vinegar, wheat gluten, flavor (contains alcohol), acerola extract	11 (1)	0	4	271	7.2	51.4	5.4	5.1	0.4	2.8	1.1	2	B
P14 (industrial)	Wheat flour (63%), water, yeast, wheat gluten, salt, wheat fiber, bean flour, vinegar, emulsifier: mono and diglycerides of fatty acids (rapeseed), preservative: calcium propionate, psyllium, acerola extract	12 (0)	2	4	241	8.8	46.0	4.5	1.6	1.0	3.9	1.1	-3	A
P0 (artisanal)	NA	NA	NA	NA	333	8.0	48.1	5.5	13.0	8.0	2.7	1.4	15	D
P4 (artisanal)	NA	NA	NA	NA	268	7.8	53.4	3.9	3.5	1.4	2.5	1.3	1	B
P22 (homemade)	Flour (54.6%), milk (21.8%), water (10.9%), butter (5.6%), sugar (4.4%), fresh yeast (2.2%), salt (0.5%)	7 (0)	0	3	276	7.2	50.9	6.1	5.8	3.9	3.3	1.2	8	C
P24 (homemade)	Flour (56.3%), semi-skimmed milk (33.8%), sweet butter (6.9%), sugar (1.1%), salt (1.1%), baker's yeast (0.8%)	6 (0)	0	3	302	8.2	52.7	4.3	7.5	5.3	2.7	1.2	9	C

### 3.1.2.1.2 Flyers containing information on the processing and nutritional aspects of breads

After the participants had completed a blind tasting, they completed an informed tasting in which they received an informational flyer together with each soft bread. The flyer stated if the soft bread was industrial, artisanal, or homemade in origin, and provided information about its nutritional and processing characteristics. The flyer was divided into two equal areas: on the left there was composition information, designed to be similar to the mandatory packaging information—i.e., the nutritional facts and the ingredients, as labeled—with the addition of complementary information such as the Nutri-Score, a global nutritional indicator that is present on certain products in France on a voluntary basis; on the right processing information was presented for each processing method, depicting the production diagram with a description of the main unit operations and some illustrations.

The six flyers were designed to fit in the relatively small and concise A5 format. As an example, **Figure 48** shows the flyer for product H\_P22.

# H\_P22 soft bread – homemade

## COMPOSITION

**Ingredients:** T45 wheat flour (54.6%), semi-skimmed milk (21.8%), water (10.9%), sweet butter (5.6%), sugar (4.4%), fresh baker's yeast (2.2%), salt (0.5%)

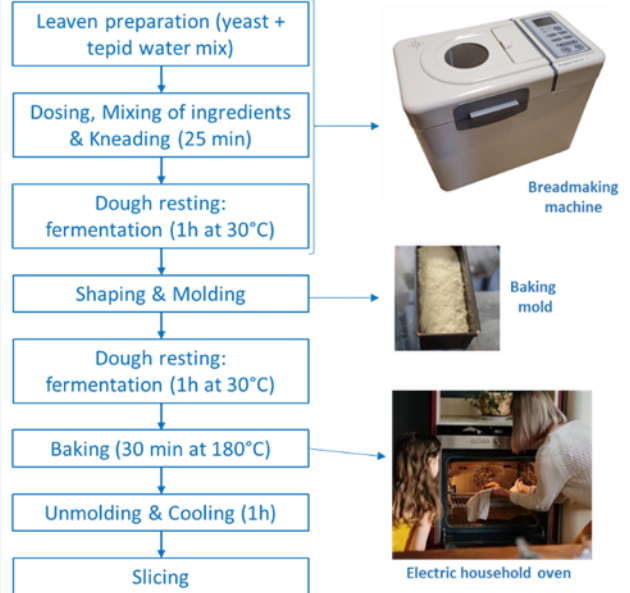
### Average nutritional values:

For a 55g slice:		For 100g:	
<b>Energy</b>	636 kJ / 152 kcal	<b>Energy</b>	1 156 kJ / 276 kcal
<b>Protéines</b>	4 g	<b>Protéines</b>	7.2 g
<b>Glucides</b>	28.7 g	<b>Glucides</b>	50.9 g
<i>dont sucres</i>	2.3 g	<i>dont sucres</i>	6.1 g
<b>Lipides</b>	3.2 g	<b>Lipides</b>	5.8 g
<i>dont acides gras saturés</i>	2.1 g	<i>dont acides gras saturés</i>	3.9 g
<b>Fiber</b>	1.8 g	<b>Fiber</b>	3.3 g
<b>Salt</b>	0.68 g	<b>Salt</b>	1.24 g

### Nutritional score:



## BREADMAKING



**Figure 48.** Example of an informational flyer, here for the H\_P22 soft bread.

The information regarding composition, with the recipe and the nutritional facts, is given on the left side; while the information regarding production, with the main manufacturing steps, is given on the right side. The content was given to participants in French and a translation is presented here.

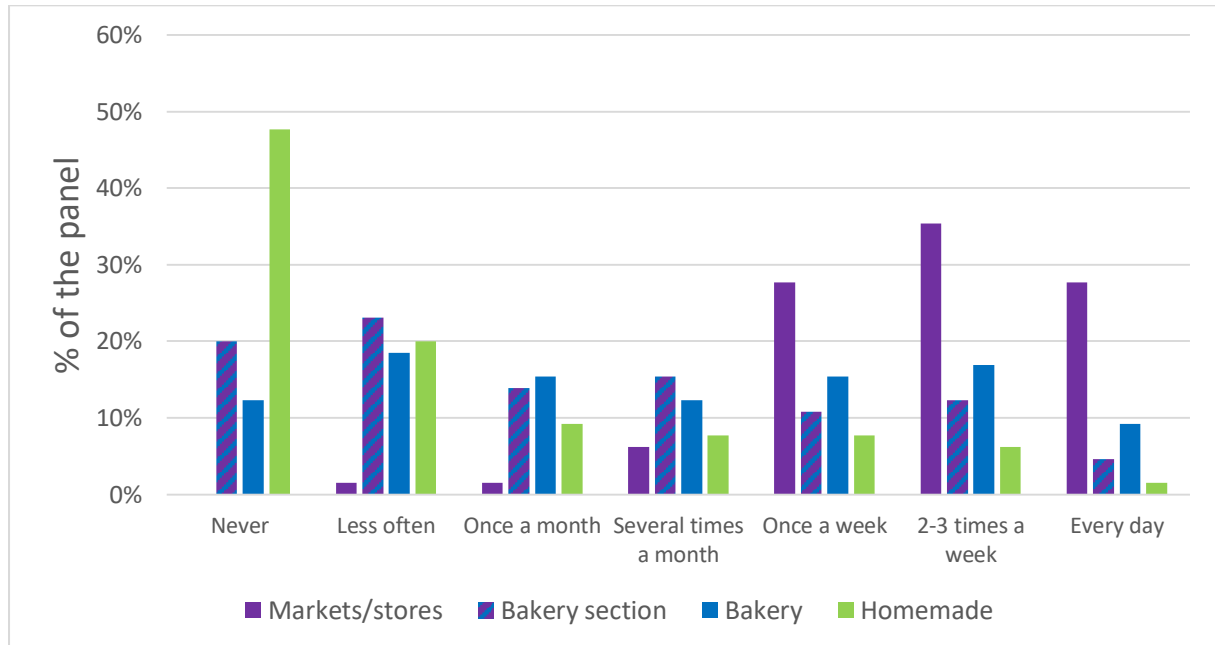
### 3.1.2.2 Experimental conditions of the consumer study

The experiment took place in October 2021 at a private consumer testing company (Eurosyn, Villebon-sur-Yvette, France), whose role was to recruit the participants and host the tests on their premises. The tasting room can accommodate up to 16 people simultaneously. There were 11–16 participants in each experimental session. Each participant was set up in an individual booth lit with a white light and equipped with Fizz software (Biosystem, Couternon, France); the tasting room was kept at a stable temperature (20°C). Eurosyn has accredited facilities and an established policy for protecting personal data and preserving individual privacy (n°2072127v0).

#### 3.1.2.2.1 Panel of participants

Sixty-five French adults were recruited for this study. The panel was balanced between sexes (50.8% women, 49.2% men), with 18.5% of the participants aged 22–30, 44.6% aged 31–45, 15.4% aged 46–60, and 21.5% aged 61–74. Panelists were recruited online about two weeks before the first test. The recruitment criteria excluded: 1) people suffering from sensory diseases or conditions affecting sensory perceptions (e.g., being pregnant or sick), 2) individuals with allergies or special diets, 3) expert

panelists (i.e., professionals in the food or marketing sectors, or trained panelists who participated in a study on food products less than 3 months prior), and 4) infrequent consumers of soft bread (i.e., less than twice a week). The soft bread consumption habits of panel members are detailed in **Figure 49**.



**Figure 49.** Frequency of soft bread consumption, according to its origin, for the 65 participants consuming soft bread at least twice a week.

### 3.1.2.2.2 Description of the experimental sequence

Each panelist participated in two different sessions on two consecutive days, lasting about an hour each. At the beginning of each session, the participants were quickly briefed on the main objective of the experiment, i.e. their perceptions and liking of the different soft breads. It was emphasized that there was no “correct” or “wrong” answers, and that their actual perceptions were the target of this experiment.

For the first session, a slice of each of the six soft breads was given to each panelist in a sequential monadic way. The panelists were asked to taste each product and fill out an online questionnaire directly on the computer in their booth to record their insights on different characteristics (detailed in section 3.1.2.3). The second session was identical except that each participant was also presented with flyers containing the labels and information for each soft bread. For each session, a Latin square design was used in order to have a balanced distribution of the presentation order and thus minimize order and carry-over effects.

### 3.1.2.3 Questionnaires

For each session and each soft bread, participants were asked to answer questions about their perceptions based on different criteria: 1) Overall liking (1 question), 2) Perceived characteristics in the mouth (e.g., sweet, dense) (6 questions),

3) Overall image and perception of the product (e.g., the assumed number of additives in the product, the assumed processing method of the soft bread, is it an organic product/natural product/locally produced) (18 questions). The full questionnaire is provided in **Supplementary Figure 2**. The order of the questions within each block was randomized to avoid any presentation bias. The answers predominantly followed a 5-point agree–disagree rating scale (Likert scale), a 7-point linear rating scale for liking, or a numerical response (e.g., the assumed number of additives in the soft bread)—all in ascending order.

#### 3.1.2.4 Statistical analysis

Statistical analysis was performed with XLSTAT v2016.1.1 (Addinsoft, Bordeaux, France) software; the alpha level was set to 0.05.

The responses on a 5-point Likert scale—expressing degree of accord—were converted to a discontinuous linear scale of 1 (strongly disagree) to 5 (strongly agree) for statistical analysis. Three outliers for the question on the assumed number of additives were removed from the analysis; the values were greater than 30 and were inconsistent with the participant's other responses, and were therefore considered to be entry errors.

The normality of the variables was tested with a Shapiro-Wilk test, and homoscedasticity was tested using Levene's test. The influence of the presentation order of the soft breads was checked using an ANOVA (Analysis of Variance) for each question, and did not appear to be significant ( $P > 0.05$ ). It was thus not taken into account in the following statistical analyses.

An ANOVA was performed using a nested model (for the bread and the processing method of the bread) with a HC0 correction for the heteroscedasticity (Long & Ervin, 2000), followed by a Bonferroni test for multiple comparisons. We chose not to use a (non-parametric) Kruskal–Wallis test because it would have oversimplified the model design.

The correlations between pairs of variables were assessed by a Spearman correlation coefficient. The impact of the information from the flyer was investigated with a Wilcoxon signed-rank test, with the Hollander & Wolfe method for treating the *ex aequo*.

Partial least squares regression (PLS- $R^2$ ) was used to model the perceived degree of processing based on the other factors, as this is an appropriate method for modeling variables with multicollinearity (Chong & Jun, 2005). The importance of the variables in the model was evaluated with VIP (Variable Importance of Projection), with variables usually considered important for a  $VIP > 1$  (Chong & Jun, 2005).

Fleiss'  $\kappa$  was used to quantify the degree of agreement between the evaluators'

assumptions regarding a soft bread's method of production versus its actual method (< 0 meaning no agreement, 0 meaning random agreement, and 1 meaning full agreement). More precisely, Landis & Koch's classification was used to interpret degree of accordance from  $\kappa$  (Landis & Koch, 1977).

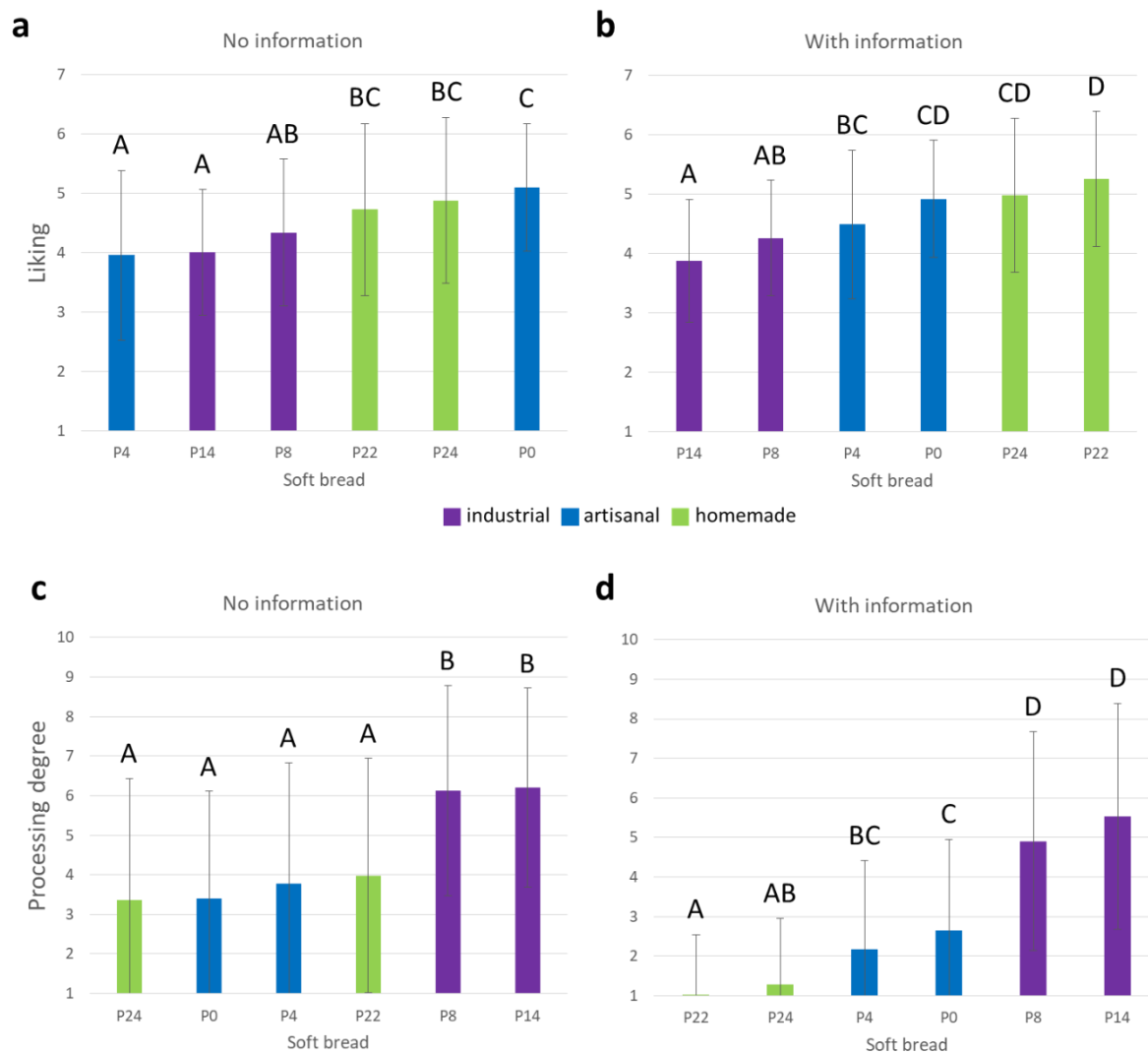
### 3.1.3 Results

The results are first presented for the "blind" part of the experiment (i.e., without information). Then, we discuss the impact that the information on the flyer had on participants' perceptions and liking scores.

#### 3.1.3.1 Sensory evaluation of the soft breads in blind conditions

##### 3.1.3.1.1 Liking and product perceptions

Under blind conditions, mean liking scores were significantly different among the different soft breads, ranging from 4.0 ( $\pm 1.4$ ) to 5.1 ( $\pm 1.1$ ) (on a scale from 1 = "extremely bad" to 7 = "extremely good"). We did detect a participant effect (degree of freedom = 65;  $F = 2.123$ ;  $P < 0.0001$ ) but no significant impact of evaluation order ( $P = 0.869$ ). Overall, the two industrial soft breads were less appreciated by the participants than the two homemade breads ( $P = 0.0002$ , **Table 18a** & **Figure 50a**). In addition, an important distinction was observed between the two artisanal breads, with A\_P0 being the most liked and A\_P4 being the least appreciated of the six soft breads (**Figure 50a**).



**Figure 50.** Liking scores and perceived degree of processing (mean values  $\pm$  standard deviation) of six soft breads from three different processing methods, expressed by 65 judges. **(a)** Liking score, on a scale from 1 (extremely bad) to 7 (extremely good), in the blind tasting and **(b)** after receiving information on the processing and nutritional aspects of the bread. **(c)** Perceived degree of processing on a continuous scale from 0 (little processed) to 10 (ultra-processed), in the blind tasting and **(d)** after receiving information on the processing and nutritional aspects of the bread. Statistical groups determined by the Bonferroni post-hoc test are indicated by letters. Groups with the same letter are not statistically different.



**Table 18.** Comparison of the soft breads with respect to the different variables evaluated by 65 consumers, analyzed according to processing method with a nested two-way ANOVA (variable = processing method + bread(processing method) + error) on data collected (a) before and (b) after identifying information was presented.

Fisher values and P values of the ANOVA are given. Statistical groups—determined by the Bonferroni post hoc test—are indicated by letters. Groups with the same letter are not statistically different (ns). \* for  $P \leq 0.05$ , \*\* for  $P \leq 0.01$ , and \*\*\* for  $P \leq 0.001$ .

(a) without information

Variable	GLOBAL MODEL			PROCESSING METHOD						NESTED: BREAD(PROCESSING METHOD)								
	F	P value		F	P value		Industrial	Artisanal	Homemade	F	P value		P8	P14	P0	P4	P22	P24
Liking	8.755	< 0.0001	***	7.835	0.0005	***	A	AB	C	9.369	< 0.0001	***	AB	A	C	A	BC	BC
Processing degree	14.254	< 0.0001	***	34.580	< 0.0001	***	B	A	A	0.703	0.5504	ns	B	B	A	A	A	A
Natural	19.450	< 0.0001	***	42.944	< 0.0001	***	A	B	B	3.788	0.0106	*	A	A	BC	BC	B	C
Number of additives	7.290	< 0.0001	***	16.563	< 0.0001	***	B	A	A	1.108	0.3457	ns	B	B	A	A	AB	A
With additives	9.842	< 0.0001	***	21.643	< 0.0001	***	C	A	B	1.974	0.1173	ns	C	C	AB	A	BC	AB
Artificial ingredients	11.690	< 0.0001	***	27.863	< 0.0001	***	B	A	A	0.908	0.4371	ns	B	B	A	A	A	A
Natural ingredients only	13.833	< 0.0001	***	31.754	< 0.0001	***	A	B	B	1.885	0.1315	ns	A	A	B	B	B	B
Clean label	12.022	< 0.0001	***	28.383	< 0.0001	***	A	B	B	1.115	0.3429	ns	A	A	B	B	B	B
Organic	12.145	< 0.0001	***	27.964	< 0.0001	***	A	B	B	1.598	0.1894	ns	A	A	B	B	B	B
Traditional	14.570	< 0.0001	***	34.235	< 0.0001	***	A	B	B	1.460	0.2251	ns	A	A	B	B	B	B
Made in France	6.479	< 0.0001	***	13.146	< 0.0001	***	A	B	B	2.034	0.1086	ns	AB	A	C	BC	ABC	C
Local production	17.755	< 0.0001	***	41.196	< 0.0001	***	A	B	B	2.127	0.0963	ns	A	A	B	B	B	B
Good nutritional quality	8.122	< 0.0001	***	14.585	< 0.0001	***	A	B	B	3.813	0.0103	*	A	A	C	ABC	AB	BC
Bad nutritional quality	5.635	< 0.0001	***	9.261	0.0001	***	B	A	A	3.218	0.0228	*	C	C	A	ABC	BC	AB
Fat	5.340	< 0.0001	***	12.022	< 0.0001	***	A	A	B	0.886	0.4486	ns	ABC	A	A	AB	BC	C
Salty	1.404	0.2218	ns	0.343	0.7102	ns	A	A	A	2.112	0.0982	ns	A	A	A	A	A	A
Sweet	2.197	0.0540	ns	1.068	0.3448	ns	A	A	A	2.950	0.0326	*	A	A	A	A	A	A
Soft	8.904	< 0.0001	***	19.300	< 0.0001	***	B	A	A	1.972	0.1176	ns	B	B	AB	A	A	A
Dry	10.992	< 0.0001	***	13.355	< 0.0001	***	B	C	A	9.416	< 0.0001	***	AB	B	AB	C	A	AB
Dense	28.327	< 0.0001	***	70.402	< 0.0001	***	B	A	C	0.276	0.8424	ns	AB	B	AB	A	C	C

Satiating	16.727	< 0.0001	***	39.592	< 0.0001	***	A	A	B	1.483	0.2187	ns	A	A	A	A	B	B
Shelf life > 2 weeks	9.655	< 0.0001	***	15.872	< 0.0001	***	B	A	B	5.510	0.0010	***	B	B	B	A	B	B
Shelf life < 2 days	11.338	< 0.0001	***	21.529	< 0.0001	***	A	B	A	4.543	0.0038	**	AB	A	B	C	AB	AB
High price	14.314	< 0.0001	***	33.389	< 0.0001	***	A	B	C	1.589	0.1894	ns	A	A	B	B	BC	C

(b) with the informational flyer

Variable	GLOBAL MODEL			PROCESSING METHOD						NESTED: BREAD(PROCESSING METHOD)								
	F	P value		F	P value	Industrial	Artisanal	Homemade	F	P value		P8	P14	P0	P4	P22	P24	
Liking	13.799	< 0.0001	***	29.187	< 0.0001	***	A	B	C	3.540	0.0148	*	AB	A	CD	BC	D	CD
Processing degree	44.561	< 0.0001	***	109.145	< 0.0001	***	C	B	A	1.505	0.2128	ns	D	D	C	BC	A	AB
Natural	48.729	< 0.0001	***	120.827	< 0.0001	***	A	B	C	0.665	0.5742	ns	A	A	B	B	C	C
Number of additives	28.843	< 0.0001	***	65.649	< 0.0001	***	C	B	A	4.306	0.0053	**	C	D	B	AB	A	A
With additives	41.017	< 0.0001	***	99.629	< 0.0001	***	C	B	A	1.943	0.1222	ns	C	C	B	B	A	A
Artificial ingredients	48.098	< 0.0001	***	116.175	< 0.0001	***	C	B	A	2.714	0.0447	*	C	C	B	B	A	A
Natural ingredients only	61.577	< 0.0001	***	148.986	< 0.0001	***	A	B	C	3.304	0.0204	*	A	A	B	B	C	C
Clean label	13.896	< 0.0001	***	32.303	< 0.0001	***	A	B	C	1.625	0.1831	***	AB	A	BC	BC	C	C
Organic	12.430	< 0.0001	***	29.485	< 0.0001	***	A	B	B	1.060	0.3658	ns	A	A	B	B	B	B
Traditional	38.356	< 0.0001	***	95.159	< 0.0001	***	A	B	B	0.488	0.6907	ns	A	A	B	B	B	B
Made in France	10.864	< 0.0001	***	26.084	< 0.0001	***	A	B	B	0.717	0.5426	***	AB	A	BC	BC	C	C
Local production	36.965	< 0.0001	***	92.260	< 0.0001	***	A	B	B	0.103	0.9585	ns	A	A	B	B	B	B
Good nutritional quality	4.741	0.0003	***	0.330	0.7188	ns	A	A	A	7.681	< 0.0001	***	A	AB	A	B	AB	A
Bad nutritional quality	5.327	< 0.0001	***	2.576	0.0774	ns	A	A	A	7.161	0.0001	***	AB	AB	B	A	A	A
Fat	8.964	< 0.0001	***	17.762	< 0.0001	***	A	A	B	3.098	0.0268	*	AB	A	AB	A	B	B
Salty	3.981	0.0016	**	2.082	0.1261	ns	A	A	A	5.248	0.0015	**	AB	AB	AB	A	A	B
Sweet	3.378	0.0053	**	0.544	0.5810	ns	A	A	A	5.268	0.0014	**	B	A	AB	A	AB	AB
Soft	7.567	< 0.0001	***	17.082	< 0.0001	***	B	A	A	1.238	0.2955	ns	B	B	AB	A	A	A
Dry	7.867	< 0.0001	***	14.400	< 0.0001	***	B	C	A	3.511	0.0154	*	AB	BC	BC	C	A	AB
Dense	32.206	< 0.0001	***	79.399	< 0.0001	***	B	A	C	0.743	0.5267	ns	B	AB	A	A	C	C

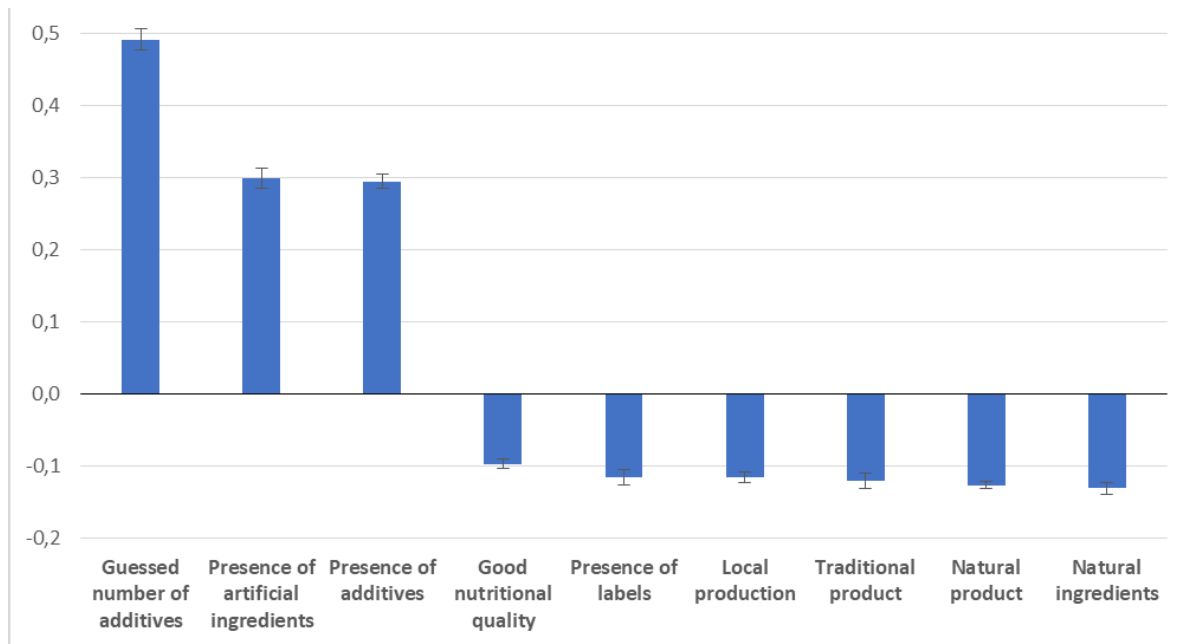
Satiating	18.208	< 0.0001	***	45.421	< 0.0001	***	A	A	B	0.065	0.9784	ns	A	A	A	A	B	B
Shelf life > 2 weeks	21.982	< 0.0001	***	51.506	< 0.0001	***	B	A	A	2.300	0.0769	ns	B	B	A	A	A	A
Shelf life < 2 days	13.368	< 0.0001	***	33.131	< 0.0001	***	A	B	B	0.192	0.9016	ns	A	A	B	B	B	B
High price	8.914	< 0.0001	***	21.386	< 0.0001	***	A	C	B	0.599	0.6158	ns	A	AB	C	C	BC	BC
Composition info	1.528	0.180	ns	3.004	0.0507	ns	A	A	A	0.545	0.6521	ns	A	A	A	A	A	A
Transformation info	0.919	0.469	ns	1.965	0.1416	ns	A	A	A	0.221	0.8815	ns	A	A	A	A	A	A
Compo info > Transfo info	0.464	0.803	ns	0.452	0.6369	ns	A	A	A	0.472	0.7023	ns	A	A	A	A	A	A

Concerning the sensory differences evaluated by consumers, the homemade soft breads were perceived as more satiating, fat-rich, and dense than the industrial and artisanal breads ( $P < 0.0001$ ). The industrial breads were softer than the others ( $P < 0.0001$ ), while the artisanal soft breads were considered the least dense, and drier than the other breads ( $P < 0.0001$ ), which might explain why the panel thought they were less likely to have a shelf life over 2 weeks ( $P < 0.0001$ ). Indeed, in the blind tasting, the artisanal soft breads were considered the most likely to have a shelf life inferior to 2 days, followed by the homemade breads, and finally by the industrial breads ( $P < 0.0001$ , **Table 18a**). However, no differences were observed among the six breads in terms of saltiness and sweetness ( $P = 0.222$  and  $P = 0.054$ , respectively, **Table 18a**). As with the liking scores, several differences between the two artisanal soft breads were observed, with A\_P4 being considered drier than A\_P0 (**Table 18a & Figure 50a**).

#### 3.1.3.1.2 Perceived degree of processing and subjective perceptions

Overall, there was a clear gap in the perception of processing degree between the two industrial soft breads and the four other breads. Indeed, without any explanatory or identifying information, participants perceived the two industrial soft breads to be significantly more processed ( $6.2 \pm 2.6$  on a continuous scale out of 10) than the four others ( $3.6 \pm 2.9$  and  $3.7 \pm 3.0$  for the artisanal and homemade soft breads, respectively) ( $P < 0.0001$ , **Table 18a & Figure 50c**). There was no statistical difference between the two representatives of each processing method (**Table 18a & Figure 50c**). Furthermore, the industrial soft breads were perceived by consumers as less natural and traditional, as having more additives and artificial ingredients, and to be of lesser nutritional quality ( $P < 0.0001$ , **Table 18a**). According to the panel, these breads were also less likely to be made in France, less likely to be of local or organic production, and less likely to possess a clean label ( $P < 0.0001$ ). A hierarchy was observed in the assumed price of the different soft breads, with industrial being the cheapest, homemade the most expensive, and artisanal in between ( $P < 0.0001$ , **Table 18a**).

To further investigate participants' perceptions about the degree of processing, a PLS regression was performed to explain this perception using other sensory criteria and images. According to the VIP of the PLS regression (with a  $Q^2$  quality index of 0.635), perceptions of the degree of processing were mostly related i) positively to the assumed number of additives and the presence of artificial ingredients/additives, and ii) negatively to perceptions of naturalness (both the ingredients and the product as a whole), traditionality, local production, the presence of quality labels, and good nutritional quality (**Figure 51**). Thus, processing perceptions were clearly based more strongly on subjective dimensions rather than the descriptive sensory dimensions of the products.



**Figure 51.** Normalized coefficients of the most important variables obtained from the PLS regression ( $Q^2 = 0.635$ ) of the perceived degree of processing by the 65 participants.

*Coefficients  $\pm$  standard deviations are represented.*

### 3.1.3.2 Influence of nutritional and processing information

In the second tasting, the participants were given an informational flyer that described the nutritional and processing characteristics of each bread. We then evaluated the influence that this information had on participants' perceptions of soft breads.

#### 3.1.3.2.1 Confirmation of perceptions between informed and non-informed conditions

Overall the informational flyer had a detectable effect on 13 of the 24 variables. As in the blind conditions, the two industrial soft breads were still perceived as being different from the four other breads. Industrial breads were always perceived as being more processed, less natural and traditional, and as having more additives and artificial ingredients than artisanal and homemade products ( $P < 0.0001$ , **Table 18b**). According to the consumer panel, these products were also less likely to be made in France, to be from local or organic production, or to be marketed under a clean label ( $P < 0.0001$ ).

For most variables, the only differences observed between the blind and informed conditions in terms of hierarchy (**Table 18**) concerned the product I\_P14, which was perceived as having more additives than I\_P8 after the flyer was presented, or the product I\_P8, which was perceived to be sweeter than I\_1P4 (**Table 18b**).

Overall, then, the flyer did not modify the participants' responses regarding which breads were organic or marketed with a clean label, or their perceptions of whether a bread was fat-rich, salty, sweet, soft, dry, or satiating ( $P > 0.05$ , **Table 19**).

**Table 19.** Effect of the informational flyer on the different variables evaluated by the 65 participants for (a) all soft breads produced by all production methods, (b) by industrial methods, (c) by artisanal methods, and (d) by homemade methods.

*P* values of the Wilcoxon signed-rank test are given. \* for  $P \leq 0.05$ , \*\* for  $P \leq 0.01$ , and \*\*\* for  $P \leq 0.001$ ; ns: not significant. The arrows show the evolution from the first session (blind tasting) to the second session (informed tasting). The comparison was done globally on the six soft breads together, and individually for each set of two soft breads from each processing method.

Variable	Global flyer effect			Industrial		Artisanal		Homemade		
	P	Signif.	Dir.	P	Signif.	P	Signif.	P	Signif.	Dir.
Liking	0.0390	*	↗	0.3446	ns	0.1175	ns	0.004	**	↗
Processing degree	< 0.0001	***	↘	0.0010	***	< 0.0001	***	< 0.0001	***	↘
Natural	< 0.0001	***	↗	0.2465	ns	0.0418	*	< 0.0001	***	↗
Number of additives	< 0.0001	***	↘	0.0236	*	0.0037	**	< 0.0001	***	↘
With additives	< 0.0001	***	↘	0.3390	ns	0.8891	ns	< 0.0001	***	↘
Artificial ingredients	< 0.0001	***	↘	0.9344	ns	0.1656	ns	< 0.0001	***	↘
Natural ingredients only	< 0.0001	***	↗	0.5930	ns	0.1408	ns	< 0.0001	***	↗
Clean label	0.6516	ns		0.9106	ns	0.2712	ns	0.1328	ns	
Organic	0.4026	ns		0.8418	ns	0.0349	*	0.6706	ns	
Traditional	< 0.0001	***	↗	0.8733	ns	0.0673	ns	< 0.0001	***	↗
Made in France	< 0.0001	***	↗	0.0077	**	0.0188	*	< 0.0001	***	↗
Local production	< 0.0001	***	↗	0.2936	ns	0.0014	**	0.0001	***	↗
Good nutritional quality	0.0009	***	↗	< 0.0001	***	0.9622	ns	0.1949	ns	
Bad nutritional quality	0.0344	*	↘	0.0114	*	0.3637	ns	0.0692	ns	
Fat	0.5930	ns		0.8422	ns	0.7730	ns	0.4077	ns	
Salty	0.9180	ns		0.4347	ns	0.1756	ns	0.4002	ns	
Sweet	0.1731	ns		0.9301	ns	0.3680	ns	0.1526	ns	
Soft	0.6479	ns		0.5532	ns	0.7680	ns	0.9427	ns	

Dry	0.3226	ns		0.6951	ns		0.4698	ns		0.5064	ns	
Dense	0.0115	*	↘	0.2037	ns		0.1561	ns		0.0753	ns	
Satiating	0.4242	ns		0.8731	ns		0.4554	ns		0.2532	ns	
Shelf life > 2 weeks	0.0639	ns		0.0020	**	↘	0.2065	ns		< 0.0001	***	↘
Shelf life < 2 days	0.0041	**	↗	0.6829	ns		0.7727	ns		< 0.0001	***	↗
High price	0.3009	ns		0.0470	*	↗	0.0030	**	↗	0.0030	**	↘

### 3.1.3.2.2 Changes in perceptions

Overall, the appreciation of the participants of the different soft breads changed after they received information on processing and nutritional characteristics (**Table 19 & Figure 50a,b**), in particular due to an increase in liking scores for the homemade soft breads. However, the ranking of products remained largely similar, with the homemade soft breads being generally preferred. The artisanal soft breads, A\_P0 and A\_P4, were quite distinct from each other in blind conditions (**Table 18a & Figure 50a**), but received similar liking scores after the informational flyer was presented (**Table 18b & Figure 50b**).

Once participants had received information on the breads, their scoring of the degree of processing of all breads was lower ( $P < 0.0001$ , **Table 19 & Figure 50c,d**). The participants also reduced their estimates of the number of additives, regardless of the type of bread ( $P < 0.0001$ , **Table 19**). The industrial breads remained those perceived to have the most additives, but after the informational flyer was presented, we observed a clear distinction between the homemade breads, with the least additives, and the artisanal breads in the middle (**Table 18b**). In blind conditions, the breads A\_P0 and A\_P4 had been viewed as least likely to contain additives, but this ranking switched in the informed tasting, in favor of the two homemade breads (**Table 18**). Based on the recipe information in the flyer, participants also distinguished between the two industrial soft breads, I\_P14 and I\_P8, with the former perceived as having more additives (**Table 18b**).

After information was presented, participants viewed the artisanal and homemade soft breads as more natural ( $P = 0.04$  and  $P < 0.0001$ , respectively, **Table 19**). The industrial soft breads were always seen as the least natural, while in the informed tasting, the homemade soft breads appeared more natural than the artisanal (**Table 18b**). Similarly, after the information was given, the homemade soft breads were considered less likely to contain artificial ingredients, and more likely to only have natural ingredients ( $P < 0.0001$ , **Table 19**). As a result, the informed tasting revealed a clearer hierarchy among the three types of breads with respect to naturalness, with the artisanal breads between the homemade and industrial breads. Instead, in the blind tasting, only the industrial soft breads appeared to be less likely to only have natural ingredients, with more artificial ingredients (**Table 18**).

In the informed tasting, participants viewed the homemade soft breads as more traditional ( $P < 0.0001$ , **Table 19**). Moreover, participants were more inclined to think that the soft breads were made in France, especially for the homemade ones ( $P < 0.0001$ , **Table 19**). Similarly, they were more likely to agree that the artisanal and homemade soft breads were locally produced ( $P = 0.0014$  and  $P = 0.0001$ , respectively). On these three issues, the hierarchy among the processing methods was unchanged between the blind and informed tastings (**Table 18**).

Once informed, the participants gave higher scores for nutritional quality to the



industrial soft breads, while scores for the other breads were unchanged (**Table 19**). As a result, the industrial soft breads went from being seen as those with the worse nutritional quality to being equivalent with the other breads in that respect (**Table 18**). In the blind tasting, the artisanal soft breads were viewed as equivalent in nutritional quality (**Table 18a**), while in the informed tasting, participants judged A\_P4 as having the best nutritional quality and I\_P14 the worst (**Table 18b**).

The participants also adjusted their estimation of the breads' shelf lives in response to being given nutritional and processing information (**Table 19**): in the blind tasting, the artisanal soft breads (especially A\_P4) were assumed to have the lowest shelf life (**Table 18a**), while the other breads were equivalent. In the informed tasting, participants perceived the industrial soft breads as having the longest shelf life, while the artisanal and homemade breads were seen as equivalent (**Table 18b**).

In response to being presented with informational flyers, participants slightly reduced their perceptions of the soft breads' density ( $P = 0.01$ , **Table 19**), but there was no change in the relative ranking of the processing methods (**Table 18**).

When compared to the blind tasting, the participants thought that the industrial and artisanal products were more likely to have a high price in the informed tasting, while the opposite pattern was found for homemade soft bread (**Table 19**). Overall, the industrial breads were always seen as the cheapest, while the homemade breads were judged as the most expensive in the blind conditions (**Table 18a**) and the artisanal breads were thought to be the most expensive in informed conditions (**Table 18b**).

#### 3.1.3.2.3 Usefulness of the informational flyer for the panel

The attitudes of the participants toward the information in the flyer—concerning either composition or processing—did not differ among the types of soft bread (**Table 18b**). Of the total group of participants, 83.6% ( $\pm 5\%$ ) agreed that the information on composition was useful, while 69.0% ( $\pm 3.9\%$ ) agreed that the information on processing was useful. Logically, 76.2% ( $\pm 3.7\%$ ) agreed that the information on composition was more useful than the information on processing.

#### 3.1.3.3 Ability of the panel to identify the type of soft bread

Overall, the panel was adept at recognizing the industrial soft breads: 86% and 83% of the participants recognized I\_P8 and I\_P14, respectively, as being industrial products (**Table 20a**). The artisanal soft breads, A\_P0 and A\_P4, were sometimes recognized as artisanal (40% and 38%, respectively), but were sometimes identified as industrial (42% and 37%, respectively) (**Table 20a**). Finally, only 25% and 22% of participants, respectively, managed to correctly recognize H\_P22 and H\_P24, the homemade soft breads. The proportion of uncertain participants, who preferred to reply "unknown", ranged from 3% (for I\_P8, industrial) to 11% (for A\_P4, artisanal) (**Table 20a**).

**Table 20.** (a) Assumptions by the participants (n=65) concerning the processing method of breads, represented in proportions of the total panel. (b) Accordance among the 65 panelists in their identification of the processing method of the soft breads, expressed by Fleiss'  $\kappa$ .

\*\* for  $P \leq 0.01$  and \*\*\* for  $P \leq 0.001$ ; ns: not significant.

(a)

SOFT BREAD		Assumed type of bread			
		Industrial	Artisanal	Homemade	Unknown
INDUSTRIAL	P8	86%	6%	5%	3%
	P14	83%	9%	0%	8%
ARTISANAL	P0	42%	40%	12%	6%
	P4	37%	38%	14%	11%
HOMEMADE	P22	42%	28%	25%	6%
	P24	31%	38%	22%	9%

(b)

Answer	Fleiss' $\kappa$	P value	
Industrial	0.370	< 0.0001	***
Artisanal	0.162	0.001	**
Homemade	0.067	0.094	ns
GLOBAL	0.207	< 0.0001	***

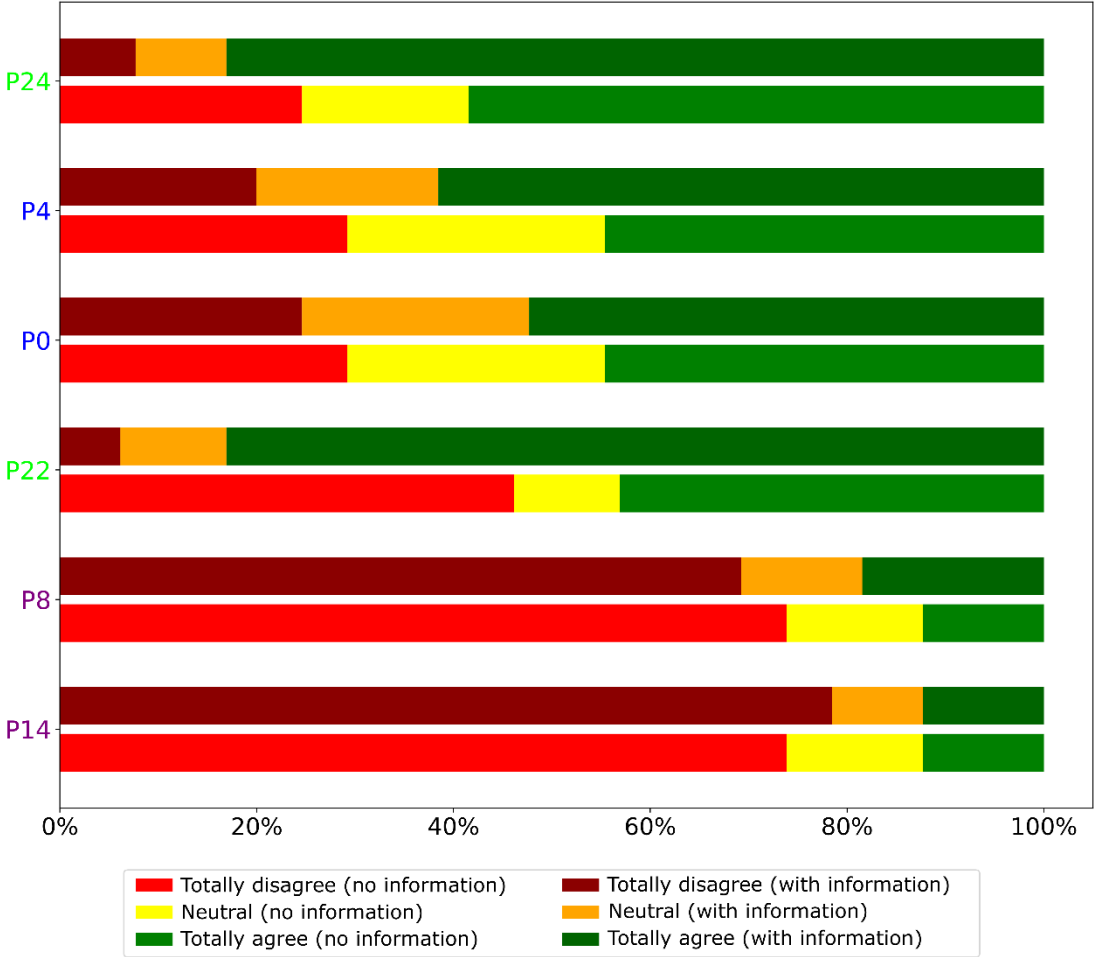
Analysis of Fleiss'  $\kappa$  confirmed that there was a significant degree of overall agreement among the participants in the panel (**Table 20b**). Specifically, there was a moderate amount of agreement among the participants in identifying industrial soft breads ( $\kappa = 0.37$ ), but this agreement was lower for the artisanal breads ( $\kappa = 0.16$ ). However, no significant agreement was observed for the homemade soft breads ( $\kappa = 0.07$ ) (**Table 20b**).

### 3.1.4 Discussion

#### 3.1.4.1 Perceptions of naturalness and food processing

As is the case with the topic of perceptions more generally, many of the concepts examined in this study, such as naturalness and degree of processing, are complex and without an agreed-upon definition (Battacchi et al., 2020). There is thus inherent variability in the understanding of these ideas by our panel, and indeed, by the population at large. Furthermore, the concept of "naturalness" encompasses multiple dimensions, from the origin of the raw ingredients (e.g., local, organic) to the final product (e.g., healthy, fresh), and is also associated with the amount and type of ingredients used (e.g., additives, genetically modified, "artificial" ingredients) and the production process (e.g., minimal and/or traditional processing) (Román et al., 2017). It is not surprising that, when participants knew the identity of each bread, they viewed

the homemade soft breads as the most natural, followed by the artisanal breads. This is consistent with a previous study that found that imagined human contact during the production process increases perceptions of a food’s naturalness (Abouab & Gomez, 2015). In the blind tasting, this pattern was not prominent and perceptions differed (Table 18a & Figure 52).



**Figure 52.** Expressed degree of accord for 65 participants when asked about the naturalness of six soft breads from three different processing methods (industrial in purple, artisanal in blue, homemade in green), before and after the presentation of nutritional and processing information.

The negative correlation between perceived naturalness and degree of processing (Spearman’s  $r = -0.631$  and  $-0.662$  with or without information, respectively) also reflects findings in the literature, highlighting that the concepts of processing and perceived naturalness are often opposed for consumers (Abouab & Gomez, 2015). In addition, the two industrial soft breads were viewed as being less traditional than the others, even in the blind tasting. Perceptions of additives also followed this trend. Being presented with nutritional and processing information led the consumers to think that the two homemade soft breads were more traditional, which is consistent with the observation that consumers tend to see traditional products as more natural (Etale & Siegrist, 2021). In all of these considerations, however, it is essential to keep in mind

the cultural background, as bread is seen more as a traditional staple food in Western countries than in Asian countries, for instance. Even in Korea, though, receiving information about flour (origin and organic nature) changed consumers' views regarding the acceptability of bread and its perceived health and natural qualities (Ha et al., 2017).

#### *3.1.4.2 Perceptions of nutritional quality*

In the blind tasting, the industrial soft breads were seen more negatively, with a worse presumed nutritional quality and a higher number of artificial ingredients and additives than the artisanal and homemade breads (**Table 18a**). However, all the soft breads were perceived to be equivalent in terms of saltiness and sweetness, and the homemade breads were recognized as fattier and denser than the others (**Table 18a**). This would suggest that the homemade breads were richer and therefore had a higher Nutri-Score, that is to say a lower nutritional quality. In the declared perceptions of the participants, though, this logical connection was not apparent. The fact that the homemade soft breads were the most appreciated (**Table 18a**) might have influenced the participants to ignore or mitigate the potentially bad nutritional quality of the product. Indeed, perceptions of taste and nutrition can be intertwined (Bialkova et al., 2016). After they received information on nutrition and processing, the participants estimated the nutritional quality of the three processing methods to be the same. Specifically, A\_P0 was perceived to have the worst nutritional quality and A\_P4 to have the best (**Table 18b**). These estimations were not too far off the mark, as A\_P0 was in reality the soft bread with the worst Nutri-Score (D), while A\_P4 had a B Nutri-Score. However, the industrial bread I\_P14 had an even better Nutri-Score (A), even though I\_P14 did not stand out in the tasting as the soft bread with the best nutritional quality. This may have been due to the negative influence of participants' lack of appreciation for the industrial breads, or perhaps to a misunderstanding of the Nutri-Score (Egnell et al., 2020).

#### *3.1.4.3 Impact of the informational flyers*

For the majority of variables, the global ranking among the processing methods remained the same (**Table 18**) both before and after the informational flyers were presented. During the blind tasting, the industrial soft breads were clearly distinguished from the artisanal and homemade breads (**Table 19a**), with the latter two being more similar. In the informed tasting, the information presented in the flyers enabled participants to better discriminate among all of the products, and significant differences were identified between the homemade and artisanal soft breads (e.g., liking, naturalness) (**Table 19b**).

On the sole basis of these results, the information presented in the second tasting clearly improved the overall perceptions of the homemade soft breads (e.g, more liked, less processed, more natural, more traditional) (**Table 19**). However, the in-mouth perceptions did not change with the introduction of the information flyer (**Table**

19), highlighting the relative consistency of the panel in evaluating these descriptors.

The choice of terms used, in particular “industrial”, could be reviewed. Indeed, these terms are not used in practice (i.e., not labeled as “industrial soft breads” in supermarkets). Terms like “long-life sandwich bread” might be preferred, as they could potentially prevent consumers from over-reacting to the “industrial” designation.

This study highlighted that, overall, consumers find value in having information about a product, particularly about the nutritional composition, which seems to be more appreciated than details on processing. It is well known that consumers typically spend little time examining food labeling: the nutrition facts panel is read only rarely, and more attention is given to front labels (i.e., “100% organic”, “no added sugar”), potentially creating a halo effect that can influence the global perception of the product (Ikonen et al., 2020). For this reason, it might be assumed that, on the flyer, more attention would be given to the Nutri-Score than to the nutrition facts panel; similarly, the processing information in the right panel may have been hard to assimilate quickly, which could explain why it was considered less important. In this study, one of the strongest influences of the flyer was on the nutritional perceptions of participants: in the blind tasting, the two industrial soft breads were considered to have the lowest nutritional quality, while in the informed tasting, there were no differences in perceived nutritional quality among the three processing methods. The presentation of nutritional data thus served to ameliorate the generally negative impressions of the industrial soft breads, which in reality had the most favorable Nutri-Scores of the breads included in this study.

In the future, it would be interesting to separate the nutritional information from the processing information to obtain more insight on the precise influence of each, instead of the combined effect of both. To avoid potential bias, it might be interesting to create two distinct groups of participants: one with information, and the other without, provided that both groups are large enough to be considered equivalent.

### 3.1.4.4 Selection and specificities of the product type

All the studied soft breads were moderately but not extremely appreciated, with liking scores mostly in the range of 4 to 5 out of 7 (i.e., neutral to well appreciated) (**Figure 50a,b**). This result reflects the nature of this product, which, although widely consumed, is not a pleasurable product in itself, but serves more as a basis for spreadable content. In this study, we chose to focus on plain soft bread—the carrier food without spread—to reduce the complexity and variability of our model (Gonzalez-Estanol et al., 2022), but it would be interesting to compare the perceptions of bread and spread together and separately. For instance, in Finland in the early nineties, only 9% of the population did not use any spread on their bread (Hellemann et al., 1990). It is also noteworthy that the panel was adept at identifying the industrial soft breads, which might be explained by their familiarity with this type of product; indeed, most participants reported consuming industrial soft bread more frequently than artisanal or homemade (**Figure 49**).

In any study of perceptions, the choice of food model—here soft bread—has a major impact on the results, and this study would therefore have to be reproduced on other foods to determine if the results are generalizable. Indeed, it is important to note that there is a high degree of variability within the category of soft bread, as reflected by variability in recipes, NOVA category (reflecting the degree of food processing) (C. A. Monteiro et al., 2019), Nutri-Score, and nutritional values. Here, all of the soft breads were presented in a comparable form (square mold, slices of comparable size) to avoid visual distinction as much as possible. However, visual differentiation could have been achieved, particularly for P0 (**Figure 47**). In order to verify this, it might have been interesting to add a question on visual appearance, as this first parameter could influence consumer expectations.

In this study, our decision to test two representatives of each processing method served as a compromise between adequately representing the diversity of soft breads and ensuring that participants were not overwhelmed by the number of samples in the tasting. Moreover, our analysis aimed to describe global tendencies, and, indeed, in most cases, the two representatives of each processing method were statistically indistinguishable. Despite this, it is necessary to keep in mind that within a given processing method the variability among different products is considerable (*cf.* section 2.2). Furthermore, attempting to reduce variability by preparing a single recipe using the three processing methods would not be realistic, as industrial, artisanal, and homemade products differ from each other not only in processing but by particularities of the recipe (e.g., specific ingredients like wheat gluten or butter).

A minor limitation of this study is the context of consumption used, which did not reflect any kind of natural or real-world setting. In the future, either a setup at home (or one that mimics a home environment) or an immersive virtual reality tasting could be used to verify that our results accurately reflect real-world perceptions. Similarly, the products were provided directly to participants, and we thus did not address the

process of buying or making bread, which might have an influence on participants' perceptions. Another area for improvement could be the number of participants, which could be increased to consolidate the observed trends. Future studies should also take into account inter-individual variability; our sample was not large enough to compare among different groups of consumers, but it would be interesting to compare perceptions and behaviors among groups.

It is intriguing that it was more difficult for the 65 participants to identify the homemade soft breads, with only a quarter of them able to do so successfully (**Table 20a**). Instead, the industrial soft breads were easily recognized (**Table 20a**), even though the accordance among participants was not perfect (**Table 20b**). This might be explained by the fact that the participants were mostly used to consuming industrial soft bread, while almost half of them never consumed homemade soft bread (**Figure 48**). However, the task was also more challenging for the frequent consumers of homemade soft breads, as there was no significant correlation between the correct identification of the two homemade soft breads and the mean consumption of homemade soft bread (Spearman's  $r = 0.108$ ).

### 3.1.5 Conclusion

The results of this study clearly showed that, on the sole basis of blind tasting, consumers have different images of industrial soft bread compared to artisanal and homemade soft breads. Indeed, although most of the panel correctly identified industrial breads, these were the least appreciated and were perceived to be of lesser nutritional quality, to contain artificial ingredients, to be softer, less likely to be organic or locally produced, less natural, and more processed. Participants also distinguished the artisanal soft breads from the homemade breads, with the latter being denser and higher in fat, and with a higher expected price than other two types of bread.

The flyer about each product's composition and processing was considered useful by the majority of the panel, especially concerning composition, and appeared to modify the consumers' perceptions. The information on the different breads appeared to make the homemade bread more virtuous in the eyes of participants and enabled them to better distinguish between the artisanal and homemade soft breads, even though these were still perceived as being more similar to each other than to the industrial products.

It would be interesting to replicate this study at a larger scale to identify clusters among the participants, perhaps based on different behavioral profiles, diets, and consumption habits, for instance in terms of organic and local consumption.

### Supplementary materials

**Supplementary Figure 2** included in the manuscript.

### CRediT authorship contribution statement

**Bastien Maurice:** Conceptualization, Data curation, Formal analysis, Investigation, Visualization, Writing – Original draft. **Isabelle Souchon:** Conceptualization, Funding acquisition, Supervision, Writing – Review & editing. **Aurélia Pernin:** Supervision, Writing – Review & editing. **Anne Saint-Eve:** Conceptualization, Funding acquisition, Supervision, Writing – Review & editing.

### **Conflicts of interest**

The authors declare no conflict of interest.

### **Funding**

This research was funded by Qualiment<sup>®</sup> and supported by the ANR (agreement #20 CARN 0026 01) in the framework of its 2019 call for scientific resourcing projects, along with a Ph.D. grant to Bastien Maurice, co-funded by the French National Institute for Agricultural Research (INRAE) and the doctoral school ABIES of Paris-Saclay University.

### **Acknowledgments**

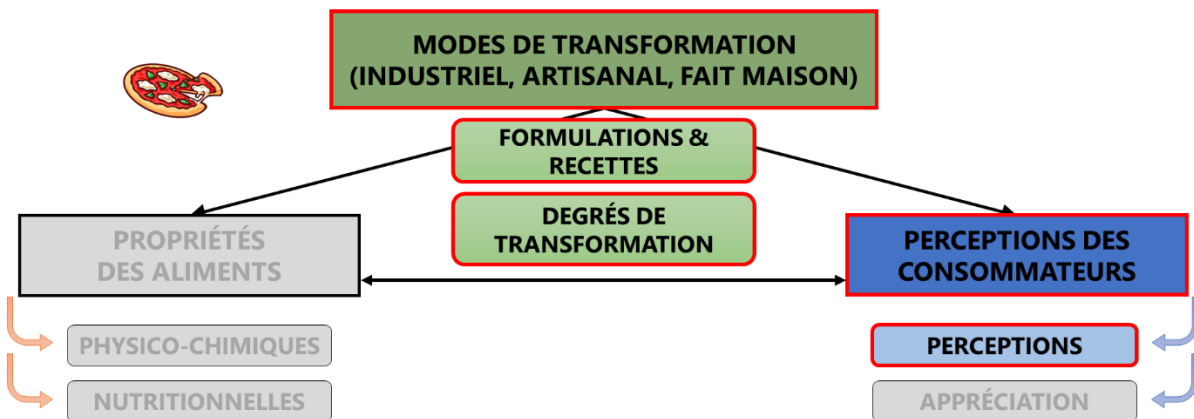
The authors would like to thank David Forest for his crucial technical support, as well as Lindsay Higgins for correcting the English of the manuscript.



Cette section a permis d'étudier les préférences et perceptions des consommateurs pour des pains de mie fabriqués selon les différents modes de transformation (pains de mie industriels, artisanaux et faits maison) au travers des dégustations de pains de mie réalisées à l'aveugle et suite à des informations données aux participants. Cette approche permet de compléter les connaissances sur l'impact du mode fabrication et d'apporter des premières pistes pour mieux comprendre les déterminants des perceptions et des préférences (question de recherche Q3).

Pour aller plus loin dans la connaissance des consommateurs et de leurs attentes, nous allons maintenant prendre l'exemple d'un produit plus complexe qu'est la pizza afin d'avoir des éléments de réponse concernant la question de recherche Q4 (**Figure 27g**).

### COMPRENDRE LES LIENS ENTRE PROPRIÉTÉS, PERCEPTIONS ET MODES DE TRANSFORMATION ?



**Figure 27g.** Démarche abordée dans la section 3.2 pour répondre aux questions de recherche.

## 3.2 IMPACT DU MODE DE TRANSFORMATION SUR LES ATTENTES DU CONSOMMATEUR : EXEMPLE DE LA PIZZA

Ce chapitre est un draft d'article pour le *British Food Journal*.

### Impact of food processing method on consumers' buying criteria and perceptions: the example of pizza

**Bastien Maurice<sup>1</sup>, Isabelle Souchon<sup>2</sup>, Shuang Hei<sup>1</sup>, Aurélia Pernin<sup>1</sup>, and Anne Saint-Eve<sup>1,\*</sup>**

<sup>1</sup> Univ Paris-Saclay, UMR SayFood, AgroParisTech, INRAE, F-78850 Thiverval-Grignon, France

<sup>2</sup> Avignon Univ, UMR SQPOV, INRAE, F-84000 Avignon, France

\* Corresponding author: anne.saint-eve@agroparistech.fr

#### Highlights

- A panel of 1,000 French adults was asked about their main considerations when buying processed food, especially pizza
- Taste, naturalness, and food safety were the highest priorities for consumers
- Local ingredients and organic or Fairtrade labels were less important in the choice of processed food
- For pizza, consumers were less attentive to quality characteristics and ingredient origin when buying in a restaurant
- High inter-individual variability was identified in perceptions of food processing

#### Abstract

Consumers are increasingly interested in and concerned about the origins and characteristics of the foods they eat, particularly for processed food. Our objective was to better understand consumers' perceptions regarding food processing methods (industrial, artisanal, homemade, or from a restaurant) and how these inform their choices.

We asked 1,000 French adults to complete an online questionnaire characterizing the importance of different factors (e.g., taste, organic label, shelf life, price) in the decision to consume (i) processed food generally or (ii) pizza, both prepared in a variety of contexts.

Overall, consumers seemed to prioritize different factors depending on the processing method. For instance, compared to all other types of food, food from restaurants appeared to be subject to less scrutiny. Taste, naturalness, and safety received more attention than organic and fair trade labels. A cluster analysis revealed three distinct groupings within the study population, each with slightly different profiles and behaviors in regards to food processing methods impact.

## Practical applications

Our findings suggest that consumers employ a hierarchy of priorities in choosing and buying food products, particularly pizza. These results could be applied to improve products so that they better meet consumer demands. In particular, such information could be used by pizza manufacturers to provide consumers with better, healthier, and more-sustainable choices for processed food consumption.

It could also spur the development of processing methods that place a stronger emphasis on nutrition, texture, or sensory properties. In this context, it would be interesting to compare the results from this declarative study to an actual tasting of different pizzas

**Keywords:** homemade, artisanal, industrial, preparation, sensory

### 3.2.1 Introduction

Nowadays, consumers have access to a tremendous number and variety of food products that cater to the needs of modern lifestyles (e.g., need for rapid preparation, convenience, food safety). Given the abundance of possible options, a great deal of research has focused on consumers' motivations for buying and consuming food. This has led to the characterization of different groups of consumers, each with different motivations and priorities. For example, a study of 20,000 French participants highlighted the existence of several behavioral clusters, including "standard conventional food small eaters", "unhealthy conventional food big eaters", and "green organic food eaters". For this last group, health was the main motivating factor in their choices, while health was the lowest priority for the group of "unhealthy conventional food big eaters" (Baudry et al., 2017). The consumption of organic products in particular has been linked to multiple motives, such as ethical and environmental concerns, as well as a demand for healthy products and naturalness (Hughner et al., 2007). In general, it appears that consumers base their decisions about food on numerous criteria, which may vary both among individuals and among different contexts.

A given food product can be prepared in a multitude of ways. For example, the preparation of a product in an industrial, artisanal, or homemade context will be characterized by specific processes and ingredients. Variations in the recipe and production method used have been shown to affect both the nutritional and sensory quality of a product as well as the perceptions of consumers. There is abundant evidence in the literature that consumers tend to prefer homemade and artisanal food products over industrial products, with examples reported from products such as Provolone del Monaco cheese (Di Monaco et al., 2005), grape juice (Abouab & Gomez, 2015), beer (Gómez-Corona et al., 2016), soft bread (Maurice, Saint-Eve, et al., 2022), or more general frameworks (Favalli et al., 2013; Rivaroli et al., 2020). These preferences can often be explained by sensory properties, such as food texture or aromas (Cayot, 2007), for which homemade and artisanal products are more unique and distinct from

their industrial counterparts (Favalli et al., 2013). In addition, craft foods are often associated with certain subjective representations (Rivaroli et al., 2021) that can positively influence food preferences, as illustrated with cheese (Di Monaco et al., 2005). An online study of 378 Mexican consumers reported that homemade corn tortillas were associated with happy, pleasant, good-natured, joyful, and secure feelings, and those from a tortilla shop were associated with good, active, and calm emotions. Instead, supermarket and plastic-bagged tortillas were associated with feelings of disgust, guilt, worry, and boredom (Santiago-Cruz et al., 2021). Similarly, the perception of naturalness has been linked with several associated or interconnected concepts, such as local production, health, minimal processing, and tradition (Román et al., 2017).

To date, however, relatively few studies have performed comparisons between different processing methods, and the majority of these have focused only on two (e.g., homemade versus industrial). To shed more light on this relationship, the present work aimed to investigate the impact of different food processing methods on consumers' expectations of food. This was accomplished via a questionnaire that was completed by a representative panel of French adults. Questions were first asked regarding processed food in general, and then repeated for the specific example of pizza to gain insight into consumers' expectations regarding a single common product. Indeed, pizza is an ideal model in this context as it is a food product that is mass-marketed, prepared using different transformation methods and recipes, and highly consumed in France.

### 3.2.2 Materials and methods

#### 3.2.2.1 Panel of participants

For this study, 1,000 French adults were recruited by Kantar Worldpanel (New Jersey, USA) to create a representative sample of the French population (**Table 21**), following the company's established policy for protecting personal data and preserving individual liberty. Participants were compensated for their time with gift cards. The survey took place in January 2021.

**Table 21.** Socio-demographic characteristics of the 1,000 French panelists (in % of the panel).

ATTRIBUTE	Options	Percentage of participants (%)			
		All participants (n = 1,000)	Cluster1 (n = 554)	Cluster2 (n = 236)	Cluster3 (n = 210)
SEX	Female	<b>52.0</b>	53.8	54.2	44.7
	Male	<b>48.0</b>	46.2	45.8	55.3
AGE	18-19	<b>2.0</b>	2.2	1.7	1.9
	20-29	<b>15.0</b>	13.4	14.8	19.5
	30-39	<b>16.0</b>	15.5	16.6	16.7
	40-49	<b>17.0</b>	17.0	17.8	16.2

	50-59	<b>17.0</b>	17.7	15.3	17.1
	≥ 60	<b>33.0</b>	34.3	33.9	28.6
MARITAL STATUS	widowed	<b>3.3</b>	3.6	3.4	2.4
	divorced	<b>9.7</b>	10.5	8.5	9.0
	single	<b>23.8</b>	22.7	20.3	30.5
	couple	<b>63.2</b>	63.2	67.8	58.1
PEOPLE IN HOUSEHOLD	1	<b>21.4</b>	20.2	19.1	27.1
	2	<b>39.2</b>	41.0	40.7	32.9
	3	<b>18.6</b>	18.4	21.2	16.2
	4	<b>15.1</b>	14.1	14.8	18.1
	≥ 5	<b>5.7</b>	6.3	4.2	5.7
INCLUDING UNDERAGE	0	<b>67.9</b>	68.4	68.2	66.2
	1	<b>15.5</b>	14.8	17.8	14.8
	2	<b>12.7</b>	13.4	10.6	13.3
	3	<b>3.3</b>	2.9	3.4	4.3
	4	<b>0.4</b>	0.4	0.0	1.0
	≥ 5	<b>0.2</b>	0.2	0.0	0.5
REGION	Paris area	<b>19.8</b>	20.7	15.4	22.2
	North-West	<b>24.8</b>	25.2	27.9	20.1
	North-East	<b>21.7</b>	21.9	23.1	19.6
	South-West	<b>11.1</b>	10.7	11.1	12.2
	South-East	<b>22.7</b>	21.5	22.6	25.9
CITY SIZE (INHABITANTS)	rural	<b>22.2</b>	22.3	21.2	23.3
	< 5,000	<b>6.2</b>	6.4	7.2	4.8
	5,000–9,999	<b>5.2</b>	5.4	7.2	2.6
	10,000–19,999	<b>4.8</b>	5.8	2.4	4.8
	20,000–49,999	<b>5.7</b>	6.8	2.9	5.8
	50,000–99,999	<b>7.3</b>	7.2	8.2	6.9
	100,000–199,999	<b>4.3</b>	4.4	4.8	3.7
	200,000–1,999,999	<b>26.7</b>	24.5	31.7	27.0
	≥ 2,000,000 (Paris)	<b>17.6</b>	17.5	14.4	21.2
PROFESSIONAL ACTIVITY	farmer	<b>0.5</b>	0.5	0.4	0.5
	company manager	<b>1.1</b>	0.5	2.5	1.0
	student	<b>2.4</b>	2.0	2.5	3.3
	craftsman/shopkeeper	<b>3.3</b>	3.4	1.7	4.8
	executive/self-employed	<b>5.7</b>	4.7	6.4	7.6
	other (unemployed, housewife...)	<b>6.3</b>	6.0	5.9	7.6
	worker	<b>9.4</b>	8.8	7.2	13.3
	executive/teacher	<b>18.5</b>	18.6	19.5	17.1
	employee	<b>24.3</b>	24.4	24.6	23.8

	retiree	<b>28.5</b>	31.0	29.2	21.0
	never	<b>20.3</b>	18.4	23.7	21.4
SUPERMARKET	≥ 1 / 3 month	<b>29.5</b>	31.6	24.2	30.0
PIZZA	≥ 1 / month	<b>30.2</b>	30.1	25.4	35.7
CONSUMPTION	1 / week	<b>16.1</b>	17.5	16.9	11.4
	> 1 / week	<b>3.9</b>	2.3	9.7	1.4
	never	<b>25.4</b>	25.8	18.2	32.4
FOOD TRUCK	≥ 1 / 3 month	<b>32.9</b>	32.5	35.2	31.4
PIZZA	≥ 1 / month	<b>26.1</b>	25.6	26.7	26.7
CONSUMPTION	1 / week	<b>11.3</b>	13.4	10.2	7.1
	> 1 / week	<b>4.3</b>	2.7	9.7	2.4
	never	<b>32.3</b>	31.6	26.7	40.5
RESTAURANT	≥ 1 / 3 month	<b>38.9</b>	40.1	41.1	33.3
PIZZA	≥ 1 / month	<b>18.0</b>	18.2	16.9	18.6
CONSUMPTION	1 / week	<b>7.1</b>	7.4	7.6	5.7
	> 1 / week	<b>3.7</b>	2.7	7.6	1.9
	never	<b>22.1</b>	21.5	16.5	30.0
ASSEMBLED	≥ 1 / 3 month	<b>25.1</b>	25.6	22.5	26.7
PIZZA	≥ 1 / month	<b>30.4</b>	31.6	31.4	26.2
CONSUMPTION	1 / week	<b>17.5</b>	17.7	19.9	14.3
	> 1 / week	<b>4.9</b>	3.6	9.7	2.9
	never	<b>36.1</b>	37.4	24.2	46.2
FULLY	≥ 1 / 3 month	<b>21.3</b>	22.7	20.3	18.6
HOMEMADE	≥ 1 / month	<b>25.4</b>	24.7	28.4	23.8
PIZZA	1 / week	<b>13.2</b>	12.1	19.1	9.5
CONSUMPTION	> 1 / week	<b>4.0</b>	3.1	8.1	1.9

### 3.2.2.1.1 Socio-demographic characteristics of the panel

The panel was sex-balanced (52% women, 48% men), with 2% of the participants aged 18–19, 15% aged 20–29, 16% aged 30–39, 17% aged 40–49, 17% aged 50–59, and 33% aged 60 and older (**Table 21**). Of all panel members, 21.4% lived in households consisting of one person, 39.2% lived in households of two people, 18.6% lived in households of three people, and 20.8% lived in households with four or more inhabitants. Participants were recruited from all over France, with 19.8% from Île-de-France (i.e., Paris region), 24.8% from the northwest, 21.7% from the northeast, 11.1% from the southwest, and 22.7% from the southeast of France. Complementary details are given in **Table 21**. With all these indicators taken together, the 1,000 participants constituted a representative panel of the French population, as depicted by national statistics provided by INSEE (French National Institute of Statistics and Economic

Studies) (INSEE, 2022).

### 3.2.2.1.2 Pizza consumption habits of the panel

The participants were asked how often they consumed pizza prepared in different ways: bought in the supermarket, bought at a food truck, ordered in a restaurant, prepared at home with ready-to-use dough and tomato sauce (“assembled at home”), or prepared at home from flour and whole tomatoes (“fully homemade”) (Figure 53). Overall, circa 85% of the panel ate at least one pizza per month (all origins combined). Fully homemade and restaurant pizzas were the least frequently consumed, while supermarket and assembled-at-home pizzas were the most frequently consumed (Figure 53).

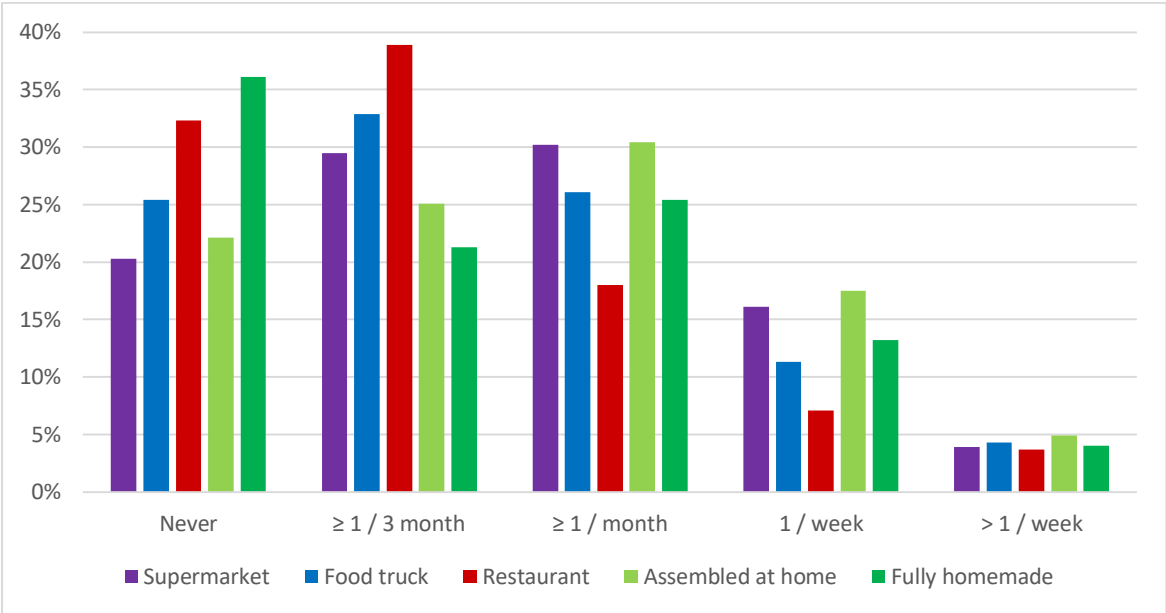


Figure 53. Mean frequency of pizza consumption by origin, declared by 1,000 panelists.

### 3.2.2.2 Questionnaire

On average, participants took less than 10 minutes to fill out the entire online questionnaire, which was divided into several parts: 1) socio-economic information (e.g., job, sex, age, marital status); 2) the relative importance of different considerations (e.g., taste, labels, origin of the ingredients, food safety) when consuming generic food products of a) industrial, b) homemade, c) artisanal, or d) restaurant origin; 3) the relative importance of different considerations (e.g., taste, labels, origin of the ingredients, food safety) when consuming pizza of a) industrial, b) homemade, c) artisanal, or d) restaurant origin; 4) pizza consumption habits (e.g., frequency, context of consumption); and 5) evaluation of the degree of transformation for different pizza recipes (e.g., margherita, ham-and-cheese, seafood). The order of the questions in 2) and 3) was randomized to prevent presentation bias. Participants were asked to select from a 5-point agree–disagree Likert scale (i.e. (1) strongly disagree, (2) disagree, (3) neither agree nor disagree, (4) agree, (5) strongly agree) to represent their degree of

agreement with different statements, which is a preferred method for recording agree–disagree responses (Revilla et al., 2014). The full questionnaire is available in **Supplementary Figure 3**.

### 3.2.2.3 Statistical analysis

The statistical analysis was performed with XLSTAT v2016.1.1 (Addinsoft, Bordeaux, France) software; the alpha level was set to 0.05. Responses recorded on a 5-point Likert scale were converted to a discontinuous linear scale of 1 (strongly disagree) to 5 (strongly agree) for statistical analyses. The normality of the variables was tested with a Shapiro-Wilk test, and homoscedasticity was tested using Levene's test. A Kruskal-Wallis test was used to assess differences, followed by a post-hoc Conover-Iman test with Bonferroni correction applied for multiple comparisons.

Spearman's  $r$  correlation coefficients were used to evaluate correlations between variables. A discriminant analysis was performed on the 11 variables without missing data to examine the correlations between the variables and the relative distinctiveness of the four processing methods (**Figure 57**). Because the results of Box's tests were significant (i.e., the covariance matrices differed among the four groups), a quadratic discriminant analysis was performed.

To compare the results we obtained for a generic product with those for pizza, we used a Friedman test for paired data, followed by a post-hoc Nemenyi test for multiple comparisons.

K-means clustering was performed (trace (W) criterion) on the answers obtained regarding pizza (part 3 of the questionnaire) to highlight groups of consumers that differed in their consumption patterns. The number of clusters was set to three, as this was the optimum value for maximizing entropy.

## 3.2.3 Results

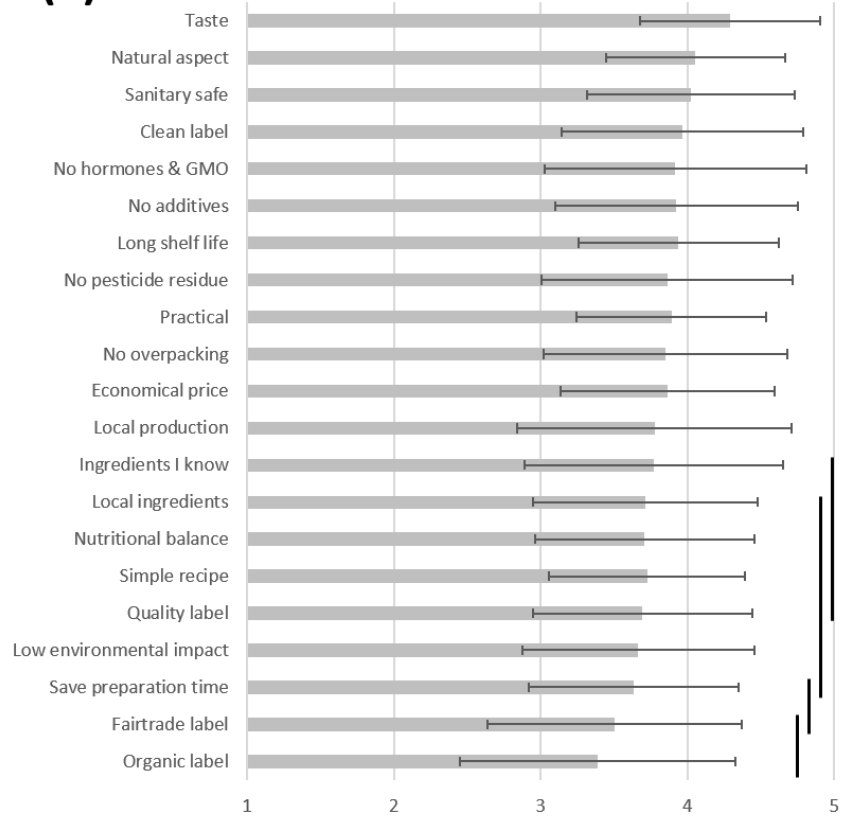
Here, we present in detail the results obtained for pizza; the results for generic food products are discussed only when they offer an interesting complement.

### 3.2.3.1 Considerations for different processing methods

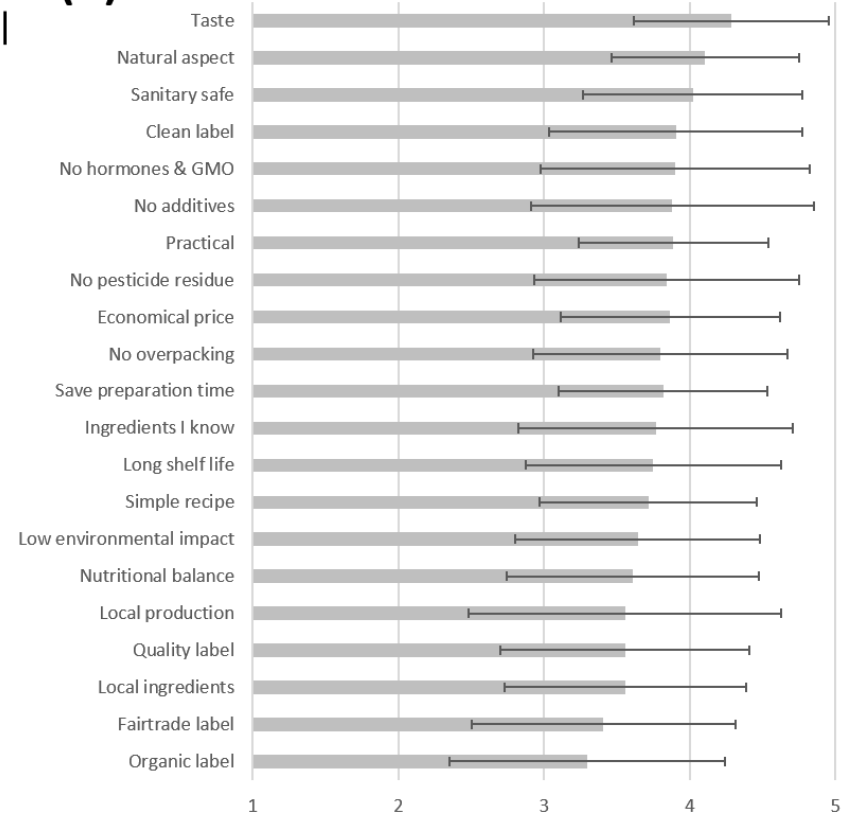
For both pizza and the generic food product, the results of our survey indicated that, among the 21 possible factors to be considered, taste was consumers' highest priority for all processing methods (**Figure 54**). Between processing methods, some slight differences were observed, with participants placing a stronger emphasis on taste for an artisanal pizza than for an industrial pizza (**Table 22b**). Overall, it appeared that the context of purchase and consumption had a significant effect on the importance of many factors: participants reported paying less attention to the majority of the proposed considerations (e.g., quality label, price, nutritional quality) when buying food in a restaurant, both for pizza and a general food product (**Table 22**).



**(a)**

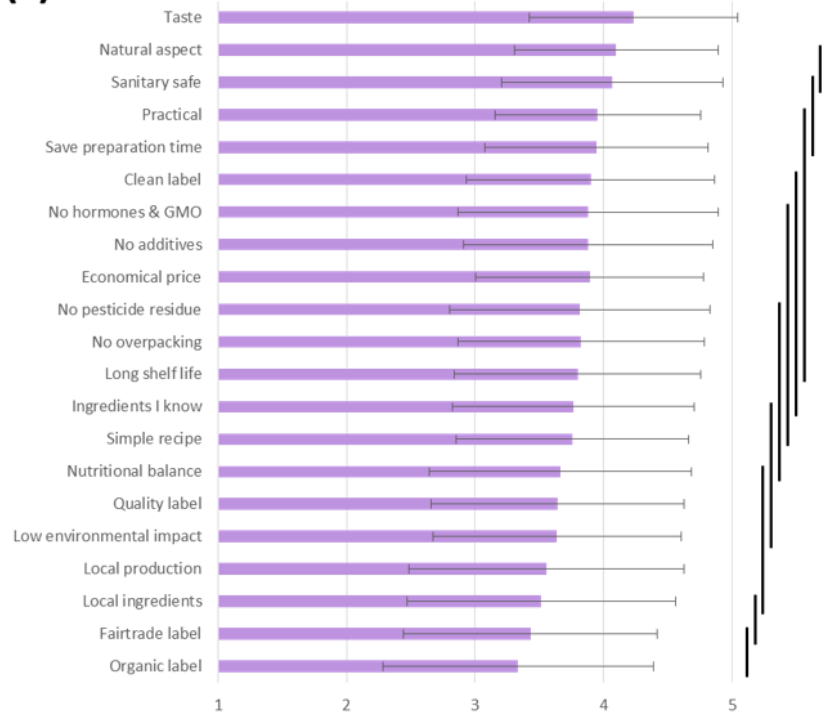


**(b)**

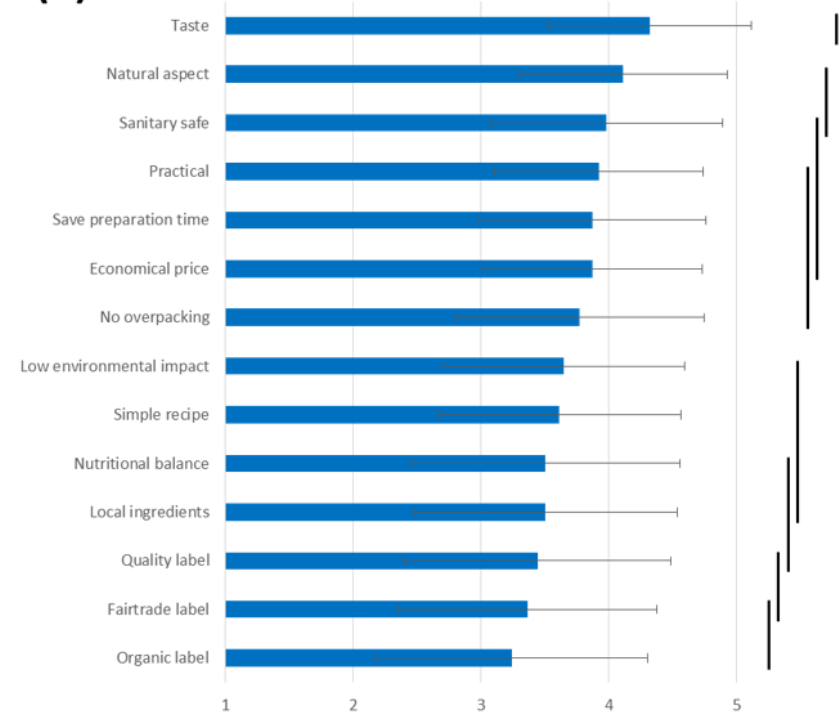


(b)

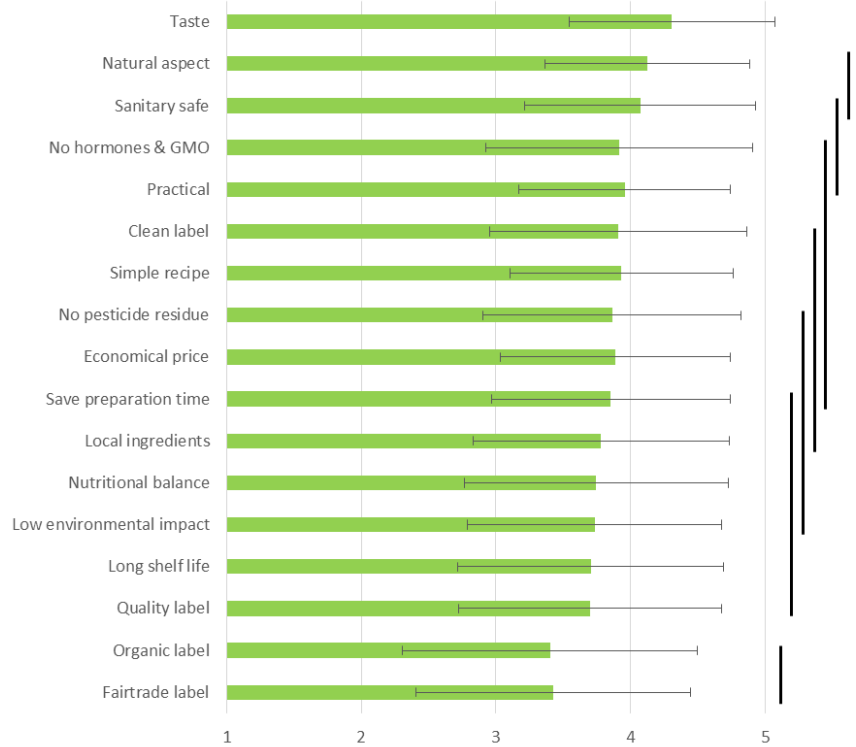
(c)



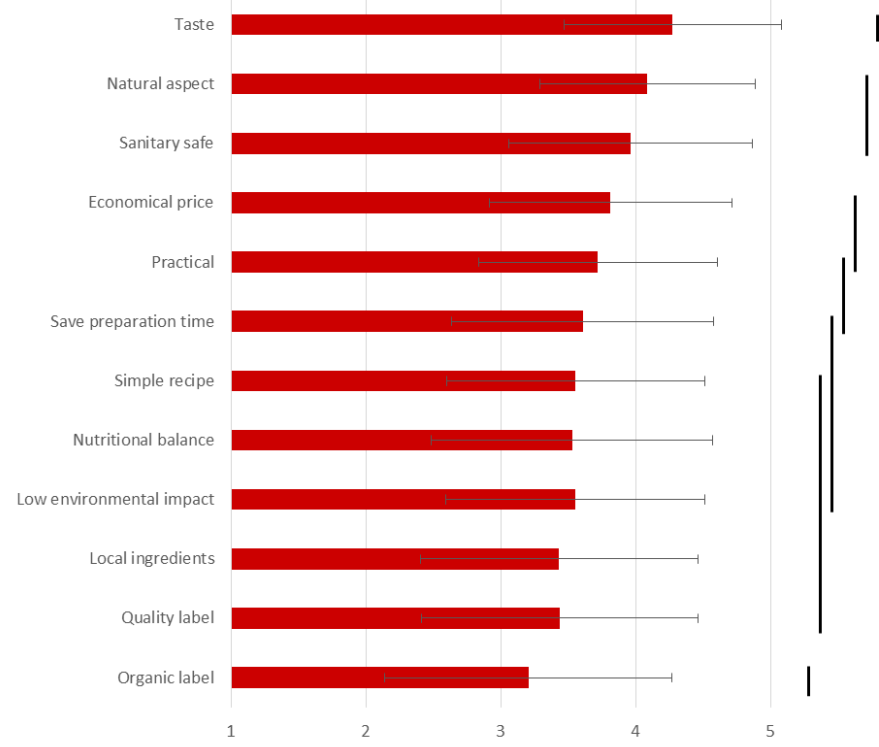
(d)



(e)



(f)



**Figure 54.** Degree of attention given by consumers to different considerations when buying a food product, on a scale from 1 (strongly disagree) to 5 (strongly agree). (a) For a generic food product, all processing methods together. (b) For a pizza, all processing methods together (i.e., b is the mean of c, d, e, and f). (c) For an industrial pizza. (d) For an artisanal pizza. (e) For a homemade pizza. (f) For a pizza bought in a restaurant.

Mean values  $\pm$  standard deviation are represented; vertical bars on the right part of each graph represent the statistical group determined by post-hoc Conover-Iman test (i.e., if items share the same bar, they are not statistically different).

After taste, consumers demonstrated a strong interest in nutritional quality and the presence of a quality label; this was especially true for industrial and homemade pizzas, but less so for artisanal and restaurant pizzas (**Table 22b**). The presence of an organic label was more important for homemade pizzas, but less important for pizzas from a restaurant.

The use of local ingredients was a key criterion for homemade pizzas compared to the other types of pizzas. Similarly, a stronger emphasis was placed on food safety and environmental impact for homemade pizzas compared to those from a restaurant.

With pizzas from a restaurant, consumers were less concerned with saving time and being practical than for industrial, artisanal, and homemade pizzas. The simplicity of the recipe was considered to be highly important for homemade pizzas and moderately important for industrial pizzas, but was less important for restaurant and artisanal pizzas (**Table 22b**).

The amount of attention given to the price, Fairtrade or clean labels, excessive packaging, naturalness, pesticide residues, hormones, or GMO ingredients did not differ among the different pizza processing methods (**Table 22b**). The presence of labels (organic, Fairtrade, and quality) appeared to be among the least important criteria, while a natural aspect was the second most important factor for both food models.

### *3.2.3.2 Particularities of pizza compared to a generic food product*

When we asked participants to rate their considerations for pizza specifically, we were able to identify certain differences from their responses for a generic food product (**Table 23**).

**Table 22.** Comparison of the processing methods with respect to the different variables investigated. (a) For a generic food product. (b) For pizza.

*P* values of the Kruskal–Wallis test are given. Statistical groups determined by the Conover–Iman post hoc test are indicated by letters in ascending order (i.e., B > A). Groups with the same letter are not statistically different (ns). \* for  $P \leq 0.05$ , \*\* for  $P \leq 0.01$ , and \*\*\* for  $P \leq 0.001$ ; in bold when below the threshold of 0.05. Striped background when not applicable.

(a)

Variable	FOOD PRODUCT					
	P value	Industrial	Artisanal	Homemade	Restaurant	
Taste	0.0852	ns	A	A	A	A
Nutritional balance	<b>&lt; 0.0001</b>	***	B	B	B	A
Sanitary safe	<b>0.0002</b>	***	B		B	A
No additives	0.1099	ns	A	A		
No pesticide residue	0.8071	ns	A		A	
No hormones & GMO	0.8386	ns	A		A	
Simple recipe	<b>&lt; 0.0001</b>	***	C	B	C	A
Clean label	0.3202	ns	A		A	
Quality label	<b>&lt; 0.0001</b>	***	B	B	B	A
Organic label	<b>&lt; 0.0001</b>	***	B	B	B	A
Fairtrade label	0.3912	ns	A	A	A	
Natural aspect	<b>0.0021</b>	***	AB	B	AB	A
Local ingredients	<b>&lt; 0.0001</b>	***	B	B	B	A
Low environmental impact	<b>&lt; 0.0001</b>	***	B	B	B	A
No overpacking	0.2844	ns	A	A		
Long shelf life	<b>&lt; 0.0001</b>	***	A	B	A	
Practical	0.3193	ns	A	A	A	
Save preparation time	<b>&lt; 0.0001</b>	***	B	B	B	A
Economical price	<b>&lt; 0.0001</b>	***	B	B	B	A

(b)

Variable	PIZZA					
	P value	Industrial	Artisanal	Homemade	Restaurant	
Taste	<b>0.0467</b>	*	A	B	AB	AB
Nutritional balance	<b>&lt; 0.0001</b>	***	B	A	B	A
Sanitary safe	<b>0.0079</b>	**	AB	AB	B	A
No additives						
No pesticide residue	0.3629	ns	A		A	
No hormones & GMO	0.4429	ns	A		A	
Simple recipe	<b>&lt; 0.0001</b>	***	B	A	C	A
Clean label	0.8517	ns	A		A	
Quality label	<b>&lt; 0.0001</b>	***	B	A	B	A
Organic label	<b>&lt; 0.0001</b>	***	BC	AB	C	A
Fairtrade label	0.2146	ns	A	A	A	
Natural aspect	0.7571	ns	A	A	A	A
Local ingredients	<b>&lt; 0.0001</b>	***	A	A	B	A
Low environmental impact	<b>0.0001</b>	***	AB	AB	B	A
No overpacking	0.2320	ns	A	A		
Long shelf life	<b>0.0257</b>	*	B		A	
Practical	<b>&lt; 0.0001</b>	***	B	B	B	A
Save preparation time	<b>&lt; 0.0001</b>	***	B	B	B	A
Economical price	0.1546	ns	A	A	A	A

**Table 23.** Effect of the type of food product on the responses from the 1,000 participants.

*P values of the Friedman test are given. \* for  $P \leq 0.05$ , \*\* for  $P \leq 0.01$ , and \*\*\* for  $P \leq 0.001$ ; in bold when below the threshold of 0.05; ns: not significant. The arrows show the evolution from answers for a given food product to answers given for a pizza. Striped background when not applicable.*

Variable	Global		Industrial		Artisanal		Homemade		Restaurant		
	P value	Evo	P value	Evo	P value	Evo	P value	Evo	P value	Evo	
Taste	0.2419	ns	0.5188	ns	<b>0.0377</b>	*	↗	0.7795	ns	0.4927	ns
Nutritional balance	< <b>0.0001</b>	*** ↘	<b>0.0002</b>	*** ↘	< <b>0.0001</b>	*** ↘		0.9617	ns	0.3820	ns
Quality label	< <b>0.0001</b>	*** ↘	< <b>0.0001</b>	*** ↘	< <b>0.0001</b>	*** ↘		0.1829	ns	0.8079	ns
Organic label	< <b>0.0001</b>	*** ↘	< <b>0.0001</b>	*** ↘	< <b>0.0001</b>	*** ↘		0.1931	ns	0.7978	ns
Simple recipe	0.5684	ns	<b>0.002</b>	*** ↘	<b>0.0003</b>	*** ↘		0.3197	ns	< <b>0.0001</b>	*** ↗
Save preparation time	< <b>0.0001</b>	*** ↗	< <b>0.0001</b>	*** ↗	< <b>0.0001</b>	*** ↗		< <b>0.0001</b>	*** ↗	< <b>0.0001</b>	*** ↗
Natural aspect	< <b>0.0001</b>	*** ↗	0.067	ns	0.9193	ns		<b>0.0035</b>	*** ↗	< <b>0.0001</b>	*** ↗
Local ingredients	< <b>0.0001</b>	*** ↘	< <b>0.0001</b>	*** ↘	< <b>0.0001</b>	*** ↘		0.3608	ns	0.0776	ns
Low environmental impact	0.2397	ns	<b>0.0101</b>	* ↘	<b>0.0019</b>	*** ↘		0.4247	ns	0.0062	ns
Economical price	0.9784	ns	0.3397	ns	0.3855	ns		0.3869	ns	<b>0.0086</b>	** ↗
Sanitary safe	0.4085	ns	0.1944	ns				0.1694	ns	0.1919	ns
Practical	<b>0.0003</b>	*** ↗	0.0648	ns	<b>0.0376</b>	* ↗		<b>0.0183</b>	* ↗		
Fairtrade label	< <b>0.0001</b>	*** ↘	<b>0.0001</b>	*** ↘	< <b>0.0001</b>	*** ↘		<b>0.0078</b>	** ↘		
Long shelf life	< <b>0.0001</b>	*** ↘	<b>0.0125</b>	* ↘				< <b>0.0001</b>	*** ↘		
No overpacking	0.0256	ns	0.9587	ns	<b>0.0026</b>	** ↘					
Clean label	<b>0.0008</b>	*** ↘	<b>0.0022</b>	*** ↘				0.0999	ns		
No pesticide residue	0.4013	ns	0.1530	ns				0.7941	ns		
No hormones & GMO	0.7656	ns	0.3512	ns				0.5909	ns		
No additives	0.0172	ns	<b>0.0172</b>	* ↘							
Local production	< <b>0.0001</b>	*** ↘	< <b>0.0001</b>	*** ↘							
Ingredients I know	0.5690	ns	0.5690	ns							

### 3.2.3.2.1 Changes in the relative importance of considerations between a generic food product and pizza

Consumers differed in their degree of accord with the statements in the questionnaire depending on whether they were presented in the context of a generic food product or that of pizza (**Table 23**). The relative importance of the different considerations for the different processing methods also varied between the generic product and pizza (**Table 22a,b**).

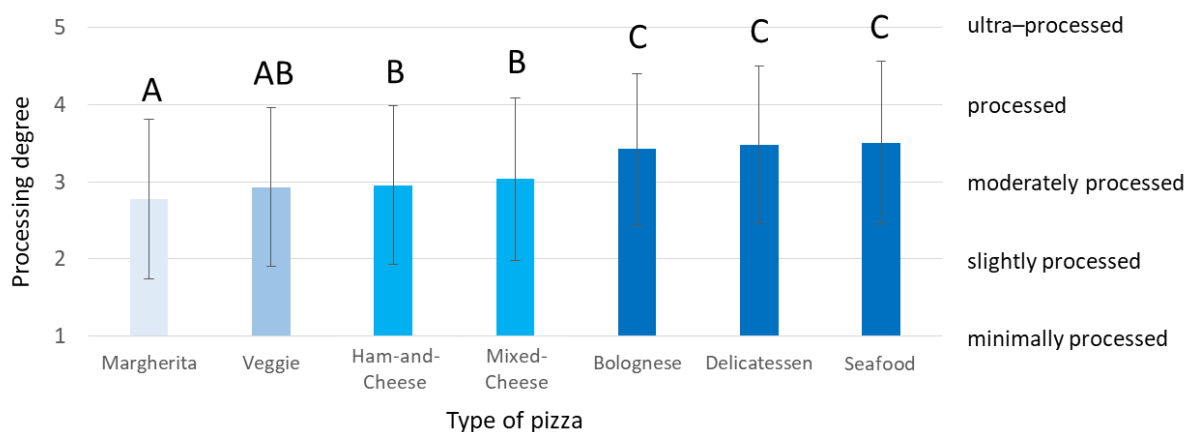
For instance, a stronger emphasis was placed on the taste of artisanal pizzas compared to artisanal food products in general (**Table 23**). Specifically, participants reported taste as being more important for artisanal pizzas than for industrial pizzas, while the attention given to taste was similar for a generic food product regardless of its processing method (**Table 22**). This result confirms the difficulty that consumers face in evaluating certain statements for food in general, compared with focusing on a particular product (Tenny et al., 2022).

Similarly, the importance of a natural aspect was stronger for pizza than for a generic product, especially for restaurant or homemade pizza (**Table 23**).

On the other hand, consumers were less concerned about the nutritional quality, labels (clean label, quality label, organic label, Fairtrade), locality (of the production and of the ingredients), and shelf life of pizza compared to a generic food product (**Table 23**). Shelf life was a more important consideration for generic artisanal products than for industrial or homemade versions, while for pizza, shelf life was considered to be more important for an industrial product than for an artisanal one (**Table 22**).

### 3.2.3.2.2 Perceptions of degree of transformation of pizza depend on the recipe

When asked about their perceptions of the degree of transformation of different pizzas, participants chose not to answer from 10.2% to 12.7% of the time. Overall, the majority of respondents considered pizza to be moderately processed ( $3.16 \pm 1.07$  on a discrete scale from 1 (minimally processed) to 5 (ultra-processed)) and there was a clear hierarchy ( $P < 0.0001$ ) among the seven pizza recipes proposed in the questionnaire (**Figure 55**). The delicatessen (e.g., bacon, chorizo, speck), Bolognese, and seafood pizzas were viewed as the most processed, with this last one perceived as ultra-processed or processed by almost 50% of the panelists. Instead, the margherita was seen as the least processed, with the veggie, ham-and-cheese, and mixed-cheese pizzas in the middle (**Figure 55**).



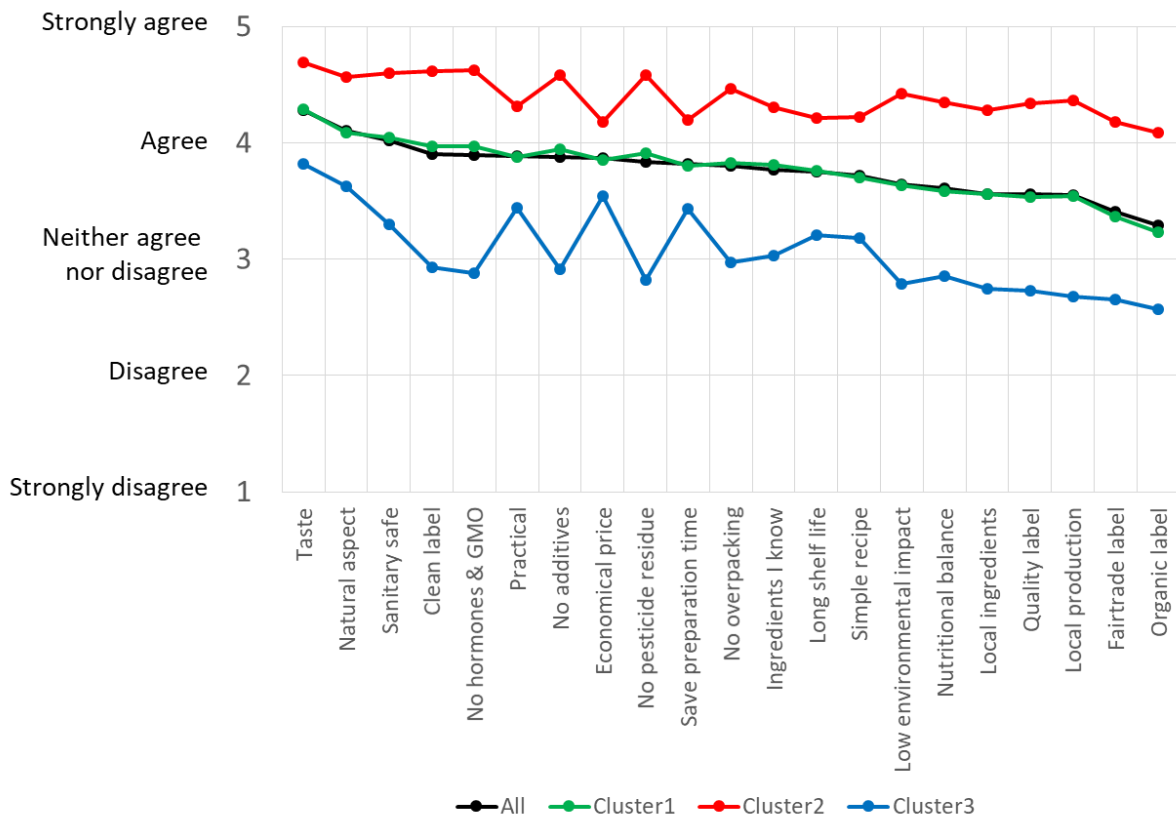
**Figure 55.** Perceived degree of processing of different types of pizza as rated by 1,000 panelists on a discrete scale from 1 (minimally processed) to 5 (ultra-processed). Mean values  $\pm$  standard deviation are shown for each pizza type, with a letter indicating the statistical group determined by post hoc Conover–Iman test in ascending order (i.e.,  $B > A$ ).

It was interesting to note that the answers for these seven types of pizza were all correlated with each other (Spearman’s  $r$  correlation coefficients between 0.30 and 0.70). No meaningful correlations were detected between the degree of processing (of any pizza) and any other variables (Spearman’s  $r < 0.14$ ).

### 3.2.3.3 Distinguishing different profiles of consumers

Although certain patterns were clear from the analysis of the entire study population (1,000 individuals), further differences became apparent when we compared different groups of participants. Using k-means clustering, we identified three different clusters of participants that were characterized by different response patterns. Cluster1 was the biggest, containing 554 respondents, while Cluster2 had 236 and Cluster3 had 210. The differences between these clusters were confirmed by Kruskal-Wallis analyses for both pizza (**Figure 56**) and the generic food product. Globally, values from Cluster1 were very close to the mean values obtained for the whole panel, while those from Cluster2 were higher and those from Cluster3 were lower (**Figure 56**). In other words, the 236 individuals of Cluster2 were on average very attentive to all mentioned considerations, with a mean higher than 4 for each characteristic (that is to say, above “agree”). On the other hand, the 210 individuals of Cluster3 were less attentive to these considerations, with an average response below 3 (i.e., neither agree nor disagree). Overall, though, the three clusters were very similar with respect to considerations such as taste, practicality, short preparation time, and low price (**Figure 56**).





**Figure 56.** Mean degree of accord with the importance of different considerations when buying pizza (mean values for industrial, artisanal, homemade, and restaurant, when available) in the panel as a whole, and for each cluster of participants.

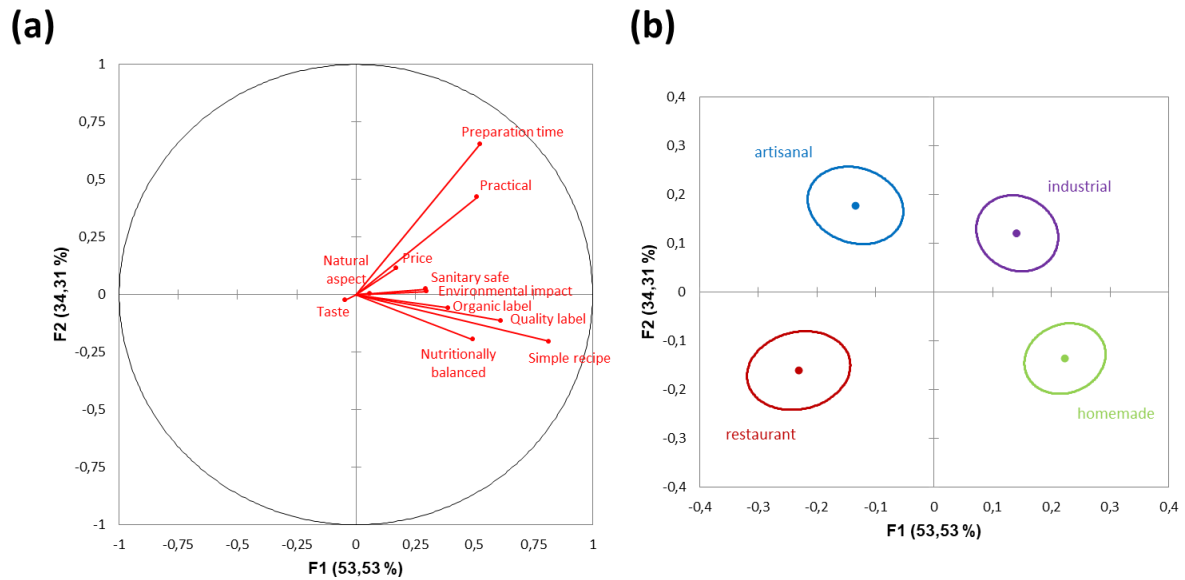
To explain the differences between the clusters, we examined their socio-demographic profiles. These tended to be similar to the characteristics of the global panel, but some exceptions were noted (**Table 21**). Cluster3 contained more males and fewer females than the other clusters, with more participants who lived by themselves. They also tended to eat pizza less often, regardless of the processing method. This cluster contained more workers and fewer retirees relative to the panel as a whole. Cluster2 included more-frequent consumers of pizza; the proportion of participants who ate pizza more than once a week was twice that of the larger group, regardless of the processing method. Finally, Cluster1 tended to feature less-frequent consumers of pizza compared to the global profile and to the other clusters.

Perceptions of the degree of processing of the seven different pizza recipes did not differ between the three clusters ( $P > 0.05$ ), with the exception of the delicatessen pizza ( $P = 0.036$ ), which was perceived as more processed by Cluster1 compared to Cluster3.

### 3.2.3.4 Discriminant analysis

A discriminant analysis was used to visually represent, in two-dimensional space, the correlations between the different considerations reported for pizza (**Figure 57a**) as well as the relationships among the four processing methods (**Figure 57b**).

Considerations of practicality and preparation time appeared to be correlated ( $r = 0.68$ ), as did naturalness and taste ( $r = 0.62$ ), even though natural aspect, price, and taste were not well represented in the figure (**Figure 57a**). Responses regarding organic and quality labels appeared to be correlated ( $r = 0.65$ ), as well as for those labels and nutritional quality ( $r = 0.49$  and  $r = 0.63$ , respectively), which were particularly desired aspects for homemade pizzas (**Figure 57b**).



**Figure 57.** Discriminant analysis of the degree of attention paid by 1,000 participants to 11 considerations when buying and consuming a pizza ( $F1 + F2 = 87.85\%$ ). **(a)** Representation of the correlations among the variables. **(b)** Biplot of the barycenter for the four processing methods, with 95% confidence ellipses.

Overall, the four processing methods were clearly distinguishable from each other on the biplot (**Figure 57b**). However, an examination of the confusion matrix revealed that the profile of the answers given for the 11 variables considered could be used to correctly predict processing method only about 30% of the time (**Table 24**). In particular, homemade pizza seemed to be more distinct from the other methods, as 48.4% of these cases were correctly predicted. However, the other processing methods were often confused with homemade (e.g., 46% for the industrial) (**Table 24**).

**Table 24.** Confusion matrix of the discriminant analysis of the degree of attention paid by 1,000 participants to 11 considerations when buying and consuming a pizza (F1 + F2 = 87.85%) displayed in **Figure 57**.

from \ to	industrial	artisanal	homemade	restaurant	Total	% correct
<b>industrial</b>	268	151	460	121	1000	26.8%
<b>artisanal</b>	257	209	382	152	1000	20.9%
<b>homemade</b>	264	115	484	137	1000	48.4%
<b>restaurant</b>	232	167	385	216	1000	21.6%
<b>Total</b>	1021	642	1711	626	4000	29.4%

3.2.4 Discussion

3.2.4.1 Choice of food model

By asking questions about a generic food product, we almost certainly introduced a non-negligible amount of variability into the results. We specified “processed foods”, to avoid conceptions of raw foods (e.g., fruits, nuts), for which a comparison between different processing methods would have been less relevant. However, the variability within the category of processed foods is vast, and different participants could have pictured very different products in their minds. Moreover, within a single questionnaire, a panelist could have based the responses to different questions on different mental examples. This is why, in the second part of the questionnaire, we used the specific example of pizza, in order to counter this lack of context and focus all participants on the same product. Even here, though, it would be possible to imagine different pizzas (e.g., margherita, mixed-cheese), which could also generate some variability. Indeed, as our analysis of the perceived degree of transformation revealed, pizzas are viewed differently depending on their recipe and the ingredients used (**Figure 55**).

However, while we gained specificity by focusing on pizza, we may have lost generality: each product has its particularities, and the results obtained here for pizza may not apply to other types of food products. It would thus be interesting to reproduce this questionnaire for other products that represent a range of complexity (i.e., from raw products to other complex products like pizza), in order to observe which consumer conceptions and considerations vary (or not) among different foods. Other parameters also need to be taken into account, such as the health scandal surrounding Buitoni® frozen pizzas ([Rappel Conso, 2022a](#)), which would probably have significantly changed some of the answers given to this survey.

One drawback of our choice of model was that a sizable minority of the panel did not consume pizza regularly (less than once a month for 15% of the panel). However, France has some of the highest overall consumption of pizza in Europe, so even if an individual did not personally consume pizza regularly, he or she would almost

certainly be quite familiar with the product.

### 3.2.4.2 Consumer priorities

Although we observed definite differences in the responses for pizza and a generic food product, it was interesting to note that the hierarchy of the different considerations was rather stable among the four processing methods. In all cases, taste appeared to be the main priority. This was not surprising for a hedonic product like pizza (Vita et al., 2016), but might not have been completely expected for processed food in general. In this, though, our study is consistent with what is known from the literature: taste is the predominant criterion in food choices, regardless of the sociodemographic characteristics of consumers (Baudry et al., 2017). Indeed, a study specifically on pizza reported that, for 202 Sicilians, flavor and smell were the most important attributes of a pizza (Di Vita et al., 2016).

Following taste, the natural aspect of food received a higher degree of attention, as well as food safety. Food safety has always been a major concern for consumers—regulated by the codes of practices from the Codex Alimentarius of the Food and Agriculture Organization and the World Health Organization (Aruoma, 2006)—and this concern goes hand-in-hand with the current lack of confidence in the food industry, and in particular in ultra-processed foods (Sarmiento-Santos et al., 2022). Conceptions of naturalness tend to reflect the same anxieties, with consumers demonstrating a marked attraction to natural products (Andersen & Holm, 2018). Similarly, other important considerations in the current study were the presence of clean labels and the absence of hormones, GMOs, additives, or pesticide residues.

These results confirm existing findings that taste, healthiness, and price are among the strongest drivers of food choice. Interestingly, the participants in this study placed price closer to the middle of their preoccupations rather than at the very top, similar to the results of Baudry et al. (Baudry et al., 2017). It would have been interesting to ask participants to explicitly rank these criteria in order of importance to confirm whether taste and healthiness are more important to them than price.

With respect to practicality and preparation time, it was a bit surprising to see homemade pizzas receive similar responses as industrial and artisanal pizzas (**Table 22b**). We had expected that these two considerations would be less important for homemade pizzas and possibly similar to values for restaurant pizzas. Preparation of a homemade pizza can require a considerable amount of time, especially when the dough is prepared at home. Furthermore, these two items appeared to be rather important for consumers, featuring among the top considerations in most scenarios.

The fact that less attention was paid to nearly all factors in a restaurant setting was also somewhat surprising. One might expect to find higher expectations in a restaurant, with more stringent requirements for food, as it is generally a more expensive and important experience, perhaps reserved for a rarer occasion (Wu et al.,

2014). However, it may be that more trust is given to restaurants, especially if consumers are frequent customers, which could reduce the degree of attention given. The greater difficulty in finding and asking for information (e.g., recipe, additives) could also be part of the explanation.

Finally, it was interesting to observe different behavioral clusters within the overall panel (**Figure 56**). The clusters differed somewhat in their priorities, as well as the attention paid to different considerations. However, these trends have to be interpreted carefully as the standard deviations (not represented in **Figure 56** for the sake of readability) ranged from 0.55 to 1.07.

### 3.2.4.3 Methodology

Online questionnaires facilitate the recruitment of a large number of participants, but they can induce carelessness, as well as a certain distance to or an ambiguous understanding of the subject of the study (Chang & Vowles, 2013).

It is possible that participants may have had confused ideas about the difference between the processing method (e.g., industrial, artisanal, homemade) and the place of sale or consumption (e.g., supermarket, shop, restaurant). For example, artisanal products can be sold in a supermarket or a restaurant, and this distinction may not have been clear.

It is important to note that, while consumers may have fixed conceptions regarding types of food processing, they are not necessarily able to identify the processing method of a given physical product. Indeed, previous work by our group demonstrated that, for different types of soft bread, only industrial bread was well recognized by consumers (> 85% of the panel) (Maurice, Souchon, et al., 2022). Therefore, it is necessary to complement research based on questionnaires with studies of blind and informed tastings, to investigate how information can influence the perceptions of consumers. The potential ignorance of consumers regarding food processing was also demonstrated here by the fact that for the seven different pizza recipes, at least 10% of the panel was not able to estimate their degree of transformation.

Other methodological approaches could have been used for clustering. In particular, the data could have been centered for each consumer (i.e., on all his answers) to better highlight the differences between criteria. We have chosen here not to modify the data to best reflect the overall sensitivity of the study.

In the future, it would be interesting to investigate different parameters, with a particular focus on comparing intrinsic (e.g., texture, taste, smell, nutritional properties) and extrinsic (e.g., brand, price, labels) properties (Symmank, 2019).

### 3.2.5 Conclusion

Using a large, representative panel of French adults, we evaluated the relative importance of different considerations in buying food products, and more particularly pizza. We also investigated how these considerations changed depending on the processing method used to prepare the food, revealing in particular that consumers paid less attention to nearly all factors while buying food at a restaurant, compared to purchasing industrial, artisanal, or homemade food.

In our assessment of the importance of different characteristics to consumers' buying choices, a hierarchy became evident: across processing methods, taste, naturalness, and food safety were typically prioritized while the presence of local ingredients or organic and Fairtrade labels was usually less important.

Within the larger panel, clustering analysis revealed three different groups of consumers based on their behavior; the largest group, Cluster1, followed the overall mean trend, while members of Cluster2 and Cluster3 tended to be more and less attentive, respectively, to the 21 considerations investigated here.

In the future, complementary experiments in a realistic setting would enable comparison of these declarative results with actual consumer behaviors and facilitate the description of different personal preferences, socio-cultural backgrounds, and extrinsic attributes.

#### **CRedit authorship contribution statement**

**Bastien Maurice:** Conceptualization, Formal analysis, Investigation, Data curation, Visualization, Writing – Original draft. **Isabelle Souchon:** Conceptualization, Funding acquisition, Supervision, Writing – Review & editing. **Shuang Hei:** Formal analysis, Investigation, Visualization. **Aurélia Pernin:** Supervision, Writing – Review & editing. **Anne Saint-Eve:** Conceptualization, Funding acquisition, Supervision, Writing – Review & editing.

#### **Conflicts of interest**

The authors declare no conflict of interest.

#### **Funding**

This research was funded by Qualiment<sup>®</sup> and supported by the ANR (agreement #20 CARN 0026 01) in the framework of its 2019 call for scientific resourcing projects, along with a Ph.D. grant to Bastien Maurice, co-funded by the French National Institute for Agricultural Research (INRAE) and the doctoral school ABIES of Paris-Saclay University.

#### **Acknowledgments**

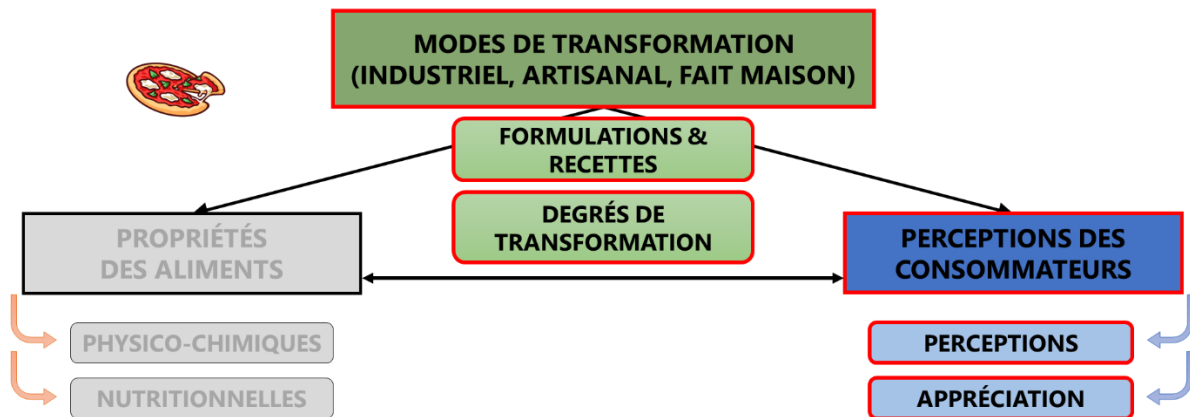
The authors would like to thank Lindsay Higgins for correcting the English of the

manuscript.

Les résultats de cette partie ont permis d'étudier les attentes des consommateurs face à des produits fabriqués selon les différents modes de production, et ce sur un panel de 1 000 personnes. L'approche a été réalisée sur un produit générique, et un exemple plus concret qu'était la pizza. Cette étude a ainsi pu montrer quels étaient les critères de choix pour un consommateur et comment ces informations pouvaient impacter les sensations perçues face à un produit naturel, bon pour la santé ou pour l'environnement, en lien avec la question de recherche Q3.

Pour aller plus loin qu'une telle étude en ligne reposant sur du déclaratif, nous allons maintenant étudier les préférences et perceptions du consommateur dans un cas réel de préparation de pizzas à domicile, selon différents modes de préparation (**Figure 27h**).

### COMPRENDRE LES LIENS ENTRE PROPRIÉTÉS, PERCEPTIONS ET MODES DE TRANSFORMATION ?



**Figure 27h.** Démarche abordée dans la section 3.3 pour répondre aux questions de recherche.

### 3.3 INFLUENCE DU MODE DE PRÉPARATION DES PIZZAS SUR LES PRÉFÉRENCES ET PERCEPTIONS DU CONSOMMATEUR

Ce chapitre est un draft d'article pour *Food Quality and Preference*.

#### Influence of pizza manufacturing method on the perceptions and preferences of the consumers

**Bastien Maurice<sup>1</sup>, Adeline Cortesi<sup>1</sup>, Marine Colpaert<sup>1</sup>, Aurélia Pernin<sup>1</sup>, Caroline Pénicaud<sup>1</sup>, Isabelle Souchon<sup>2</sup>, and Anne Saint-Eve<sup>1,\*</sup>**

<sup>1</sup> Univ Paris-Saclay, UMR SayFood, AgroParisTech, INRAE, F-78850 Thiverval-Grignon, France

<sup>2</sup> Avignon Univ, UMR SQPOV, INRAE, F-84000 Avignon, France

\* Corresponding author: anne.saint-eve@agroparistech.fr

#### Highlights

- Sixty-nine French consumers were asked to prepare, bake, consume, and evaluate pizzas at home
- Industrial, fully homemade, and assembled-at-home versions of ham-and-cheese and four-cheese pizzas were compared
- Industrial pizzas were perceived to be more transformed than homemade ones, whereas they have similar processing degrees
- Homemade pizzas were more appreciated, perceived as more natural and healthy than industrial pizzas
- Incorrectly, homemade pizzas were perceived with a higher nutritional quality than industrial pizzas

#### Abstract

Consumer attitudes towards ultra-processed foods have become increasingly distrustful in recent years. In addition, an interest appeared in homemade food preparation, which is perceived as being healthier and more natural. In this context, we aimed at investigating the liking and perceptions of consumers regarding different manufacturing methods for a common ultra-processed food: pizza.

Over the three weeks of the study, 69 French consumers were asked to prepare, bake, and consume six pizzas at home. Specifically, three different processing methods— industrial, assembled at home from store-bought ingredients, or prepared at home from scratch—were used to prepare two recipes, a ham-and-cheese pizza and a four-cheese pizza. Regardless of processing method, the pizzas for a given recipe were composed of similar ingredients and were of similar nutritional quality.

Although the industrial pizzas were viewed as being the easiest and fastest to prepare, they were the least appreciated. These pizzas were also perceived as the least healthy;



they were thought to be of lower nutritional quality and to be more likely to have multiple processed ingredients and additives compared to the other pizzas. Instead, homemade and assembled pizzas were preferred and received equivalent liking scores. With respect to the degree of transformation, homemade pizzas were perceived as being the least transformed and industrial pizzas were thought to be the most transformed, with assembled pizzas in between. In this, however, perceptions did not reflect the Process-Score calculated for each processing method, which was similar, although values for the four-cheese pizzas were slightly higher than those for the ham-and-cheese pizzas. In addition, compared to the assembled and industrial pizzas, homemade pizzas were perceived as more high-end, more eco-friendly, and more likely to only contain natural ingredients. Regardless of the manufacturing process, the four-cheese pizzas were perceived to be more satiating, more high-end, and more appreciated, but with a lower nutritional quality, than ham-and-cheese pizzas.

With these results, we aim to contribute to knowledge on consumer conceptions regarding homemade foods, as well as on how these conceptions align (or not) with consumer preferences. This study also enriches the debate on ultra-processing by bringing concrete examples to the table.

**Keywords:** homemade, industrial, assembled, naturalness, healthiness, processed foods

### 3.3.1 Introduction

Consumers are becoming increasingly aware of the impact of food on human health and the environment. In this context, homemade and local products benefit from a virtuous image and the perception of less processing and more authenticity (Aprile et al., 2016). Indeed, studies of consumer perceptions have revealed a duality between homemade production and a mass-produced industrial food offer. Research has illustrated how consumers' perceptions of naturalness or healthiness are affected by the method of production, through associations with different processes of transformation and modification or the distance to the raw ingredients (Abouab & Gomez, 2015). References to homemade production and images of natural foods create a health halo, with a positive effect on perceived healthfulness (Devia et al., 2021). Moreover, homemade food products are often perceived as tastier than industrial foods; they receive higher appreciation scores and are more strongly associated with happiness, family, and authenticity (Petridou, 2001; Moisisio et al., 2004; Ares, Aschemann-Witzel, Vidal, et al., 2018). Even from a medical point of view, home cooking is often recommended for its benefits, e.g., in preventing the emergence of type 2 diabetes (Polak et al., 2018).

However, such attitudes rely on numerous factors such as cultural sensibilities, culinary skills, and the amount of time available, which vary from one individual to

another (Zammit, 2018; López Nieves et al., 2019). Furthermore, this increase in demand for more natural and less processed products (Nielsen, 2016) is occurring within the larger context of an increase in the availability and consumption of processed foods. Indeed, there is a worldwide trend toward more processed foods, with the highest sales in Australia, North America, Europe, and Latin America, and rapid growth in Asia, the Middle East, and Africa (Baker et al., 2020). The benefit of processed food production is that it meets the expectations and needs of contemporary lifestyles and can provide a stable, year-round source of varied, safe, and healthy food. However, a growing body of evidence has linked industrial food and the consumption of ultra-processed foods with reduced diet quality (e.g., more energy density, more fat, less vitamins) (Martini et al., 2021) and deleterious health outcomes (e.g., obesity, cancer, mortality) (Costa de Miranda et al., 2021).

To date, only a few studies have attempted to compare consumers' perceptions of a processed food product prepared using different methods, and even fewer have employed a real product tasting to do so. Existing research has highlighted differences in consumers' attitudes towards artisanal and industrial versions of products as diverse as cheese, beer, cakes, or deli products. For example, artisanal Maroilles and Manchego cheeses were found to have different smells and colors than industrial versions (Ballesteros et al., 2006; Nacef et al., 2019), and traditional "pâtés de campagne" were found to have different texture properties and a different visual aspect than their industrial counterparts (Siret & Issanchou, 2000). However, in a blind tasting, industrial pâtés were appreciated as much as traditional ones (Siret & Issanchou, 2000); the same result was reported for industrial and artisanal Provolone cheeses (Di Monaco et al., 2005). Artisanal beers were considered by consumers to be of better quality than industrial ones, and to feature a more interesting range of tastes (e.g., malted barley, chestnut, honey) (Aquilani et al., 2015; Carvalho et al., 2018). Homemade ham-olive cakes and soft breads were preferred over industrial versions of these products (Galiñanes Plaza et al., 2019), and previous work by our group confirmed the preference for homemade soft breads over industrial ones (Maurice, Saint-Eve, et al., 2022). However, to our knowledge, no study conducted to date has involved consumers in the preparation of the food products to be compared.

The objective of this study was thus to investigate the influence of the method of food preparation on consumers' perceptions of processed food, and, for the first time, to involve participants in the preparation of the product under study. For this, we used pizza as a model, as it is a mass-marketed product that is consumed in significant quantity all over the world and especially in France. Moreover, while pizza is a traditional product, it can be easily prepared using numerous recipes and methods of production. In particular, it is possible to prepare and test them in the participants' home.

### 3.3.2 Materials and methods

#### 3.3.2.1 Industrial, assembled, and homemade pizzas

Six pizzas were compared, and prepared by the study participants using three distinct production methods: 1) Industrial pizzas were purchased at a French supermarket and then baked at home by the participants; 2) Assembled pizzas were created from store-bought ingredients (i.e., ready-to-use pizza dough, ready-to-use tomato sauce, and toppings such as cheese and ham), which were assembled and baked by the consumers at home; 3) Fully homemade pizzas were prepared from scratch using raw ingredients bought at the supermarket (e.g., flour, yeast, oil, salt for the dough; tomato puree, tomato concentrate, oil, salt, sugar, garlic, oregano for the tomato sauce; and the toppings). Participants prepared the dough and tomato sauce at home, then assembled them into a pizza before baking. Some preparation and cooking instructions were given to the participants for each pizza.

Each of these three preparation methods was used to create a ham-and-cheese pizza (Nutri-Score B) and a four-cheese pizza (Nutri-Score C), in order to explore the potential influence of the recipe on perceptions and appreciation. Following the procedure of the French Public Health Agency ([Santé Publique France, 2020](#)), we calculated a Nutri-Score for each pizza to serve as a general nutritional indicator. A Process-Score was also calculated that represented the degree of transformation of each pizza (Maurice, Saint-Eve, et al., 2022).

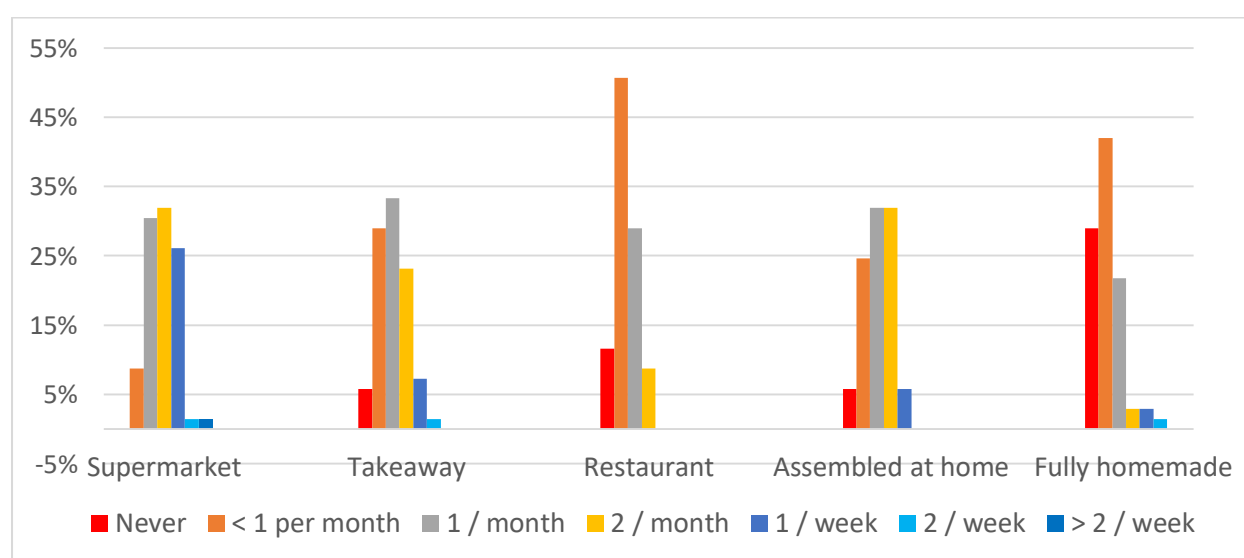
#### 3.3.2.2 Experimental conditions

##### 3.3.2.2.1 Panel of participants

A panel of 69 French adults was recruited by a private consumer testing company (Eurosyn, Villebon-sur-Yvette, France), whose role was to recruit the participants and provide them with the appropriate products. Eurosyn has accredited facilities and an established policy for protecting personal data and preserving individual liberty (n°2072127v0). The panel was sex-balanced (55.1% women, 44.9% men), with 31.9% of participants aged 18–29, 24.6% aged 30–50, and 43.5% aged 51–70. More details on the participants are given in **Table 25**. The recruitment criteria excluded in particular: 1) people suffering from sensory diseases, or conditions affecting sensory perceptions (e.g., being pregnant or sick), 2) individuals with allergies or special diets, 3) individuals with relevant professional training or experience (i.e., professionals in the food or marketing sectors, or trained panelists who participated in a study on food products less than three months prior), 4) people unable to prepare pizzas at home (e.g., without an oven or fridge), and 5) infrequent consumers of pizza (less than once a month). The pizza consumption habits of the panel are detailed in **Figure 58**.

**Table 25.** Socio-demographic characteristics of the 69 French panelists.

ATTRIBUTE	OPTIONS	PERCENTAGE OF PARTICIPANTS (%)
SEX	Female	55.1
	Male	44.9
AGE	18-29	31.9
	30-50	24.6
	51-70	43.5
PROFESSIONAL ACTIVITY	employee	26.1
	retiree	18.8
	executive	15.9
	Professional/self-employed	14.5
	unemployed	10.1
	student	7.2
	worker	2.9
	homemaker	2.9
	craftsman/shopkeeper/company manager	1.4
PEOPLE IN HOUSEHOLD	1	23.2
	2	60.9
	≥ 3	15.9
COMPANIONS WHILE EATING PIZZA	0	17.4
	1	58.0
	2	14.5
	≥ 3	10.1



**Figure 58.** Frequency of pizza consumption, depending on its origin, for the 69 participants.

### 3.3.2.2.2 Description of the experimental procedure

The study took place over three consecutive weeks in November 2021. Each week, the participants were asked to prepare, bake, and eat two pizzas at home under real-life conditions, so that at the end of the three weeks, each participant had eaten all six pizzas. The order of preparation of the different pizzas varied among the 69 participants following a Latin square design to avoid presentation-order bias. Each week, participants picked up a refrigerated bag from Eurosyn that contained all the ingredients necessary to prepare two different pizzas. All ingredients were in their original packages with the exception of the industrial pizzas, which were removed from their cardboard boxes in order to hide the brands.

Participants were asked to complete a preliminary questionnaire detailing their consumption habits: frequency of pizza consumption (**Figure 58**), typical number of dining companions, degree of attention paid to 25 considerations when buying a pizza at the supermarket (e.g., taste, price, salt content, labels; on a 5-point Likert scale), socio-economic status (**Table 25**), and the household equipment available to them.

Then, during the preparation of each pizza, panelists filled out a short questionnaire (**Supplementary Figure 4**) to evaluate their compliance with instructions (e.g., quantities used, heating time), the ease of preparation, the weight of the pizza (before and after cooking), their perception of the pizza's degree of transformation (on a 7-point graduated scale from minimally processed to ultra-processed), and how much they wanted to consume the pizza (before and after cooking, on a 5-point Likert scale).

During and after the tasting, another questionnaire (**Supplementary Figure 5**) assessed panelists' state of hunger (before and after eating, on a 7-point scale), their appreciation for the pizza (on a 7-point liking scale), the percentage of pizza consumed, their degree of accordance with different statements regarding the pizza (e.g., good for health, very salty, very fatty, nutritionally balanced, with many additives; on a 5-point Likert scale), and their post-baking perception of the pizza's degree of transformation (on a 7-point scale from minimally processed to ultra-processed).

A final questionnaire was given at the very end of the experiment in which participants were asked to rank the six pizzas from most to least preferred, expensive, processed, eco-friendly, and healthy. It also asked if they enjoyed making their own pizza (on a 5-point Likert scale), which pizza they would prepare and eat again if given the opportunity, and the underlying criteria for this choice (e.g., preparation time, overall cost, taste), rated on a 5-point agree–disagree scale.

### 3.3.2.3 Statistical analysis

Statistical analysis was performed with XLSTAT v2016.1.1 (Addinsoft, Bordeaux, France) software; the alpha level was set to 0.05. Responses that expressed degree of

accordance on a 5- or 7-point Likert scale were converted to a discontinuous linear scale of 1 (strongly disagree) to 5 or 7 (strongly agree), respectively, for statistical analysis. The normality of the variables was tested with a Shapiro-Wilk test, and homoscedasticity was tested using Levene's test. The influence of presentation order was checked using an ANOVA (Analysis of Variance) for each question. Because it did not appear to be significant ( $P > 0.05$ ), it was not taken into account in the subsequent statistical analyses.

An ANOVA was performed using a nested model (for the preparation method and recipe) with a HC0 correction for heteroscedasticity (Long & Ervin, 2000), followed by a Bonferroni test for multiple comparisons. We chose not to use a (non-parametric) Kruskal-Wallis test because it would have oversimplified the model design. A  $\chi^2$  test was performed to determine if variables followed a uniform distribution. A Friedman paired test was used to compare before/after values, followed by a Nemenyi test for multiple comparisons.

### 3.3.3 Results

#### 3.3.3.1 Preparation of the pizzas

As expected, the industrial pizzas were perceived as the easiest to prepare and the homemade pizzas were viewed as the most complicated, with the assembled pizzas in between (**Table 26**). Overall, the pizzas were perceived as "neither complicated, nor easy" to prepare (corresponding to a score close to 4 on a 7-point scale), although the scores for the completely homemade pizzas were slightly lower ( $3.57 \pm 0.87$ ), i.e. they were a little complicated to prepare. Unsurprisingly, the homemade pizzas were reported to have the longest preparation time and the industrial pizzas the shortest (**Table 26**). The cooking time appeared to be shorter for the industrial pizzas compared to the others (**Table 26**).

There was no influence of mode of preparation on the weight of pizzas, but the four-cheese pizzas were heavier than the ham-and-cheese ones (**Table 26**). In general, the participants followed the preparation instructions more carefully for the industrial and assembled pizzas, but were more likely to make modifications to the homemade pizzas (e.g., adapting the quantities of tomato sauce and/or cheese) (**Table 26**).

**Table 26.** Comparison of the six pizzas with respect to different variables evaluated by 69 consumers, analyzed according to preparation method.

Fisher values and P values of the two-way ANOVA (variable = pizza type + preparation method(pizza type) + error) are given. Statistical groups—determined by the Bonferroni post hoc test—are indicated by letters in ascending order (i.e., B > A). Groups with the same letter are not statistically different (ns). \* for  $P \leq 0.05$ , \*\* for  $P \leq 0.01$ , and \*\*\* for  $P \leq 0.001$ .

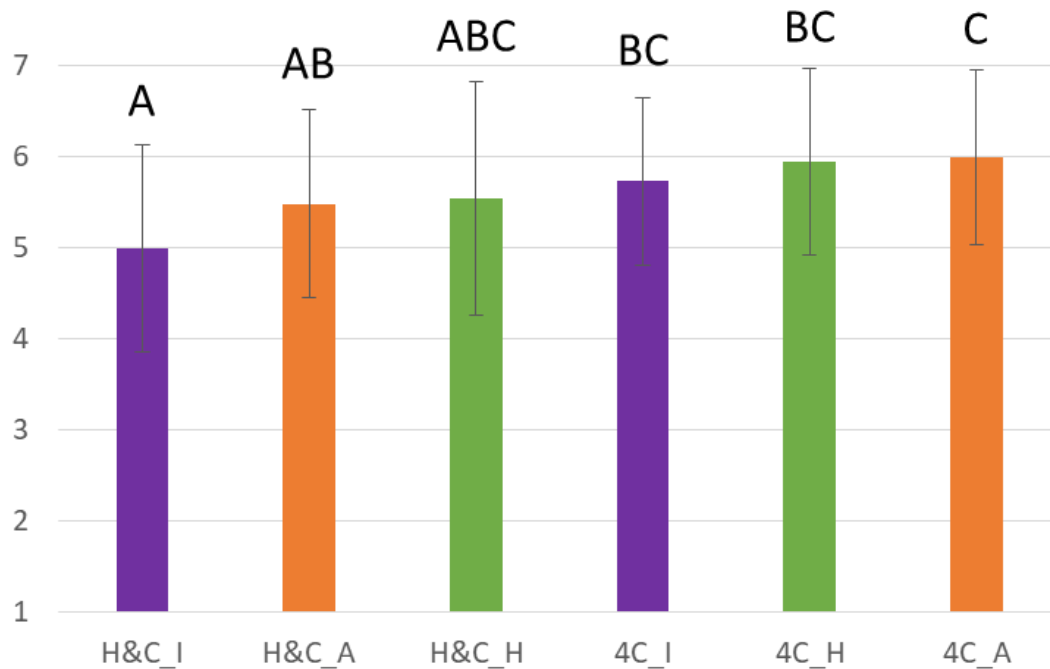
Variable	GLOBAL MODEL			PREPARATION METHOD						PIZZA TYPE				
	F	P value		F	P value		Industrial	Assembled	Homemade	F	P value		Ham&Cheese	4-cheese
Processing degree (before)	12.689	< 0.0001	***	31.289	< 0.0001	***	C	B	A	0.007	0.9320	ns	A	A
Processing degree (after)	7.423	< 0.0001	***	18.535	< 0.0001	***	C	B	A	0.000	0.9952	ns	A	A
Processing degree (difference)	1.514	0.1841	ns	ns	ns	ns	A	A	A	ns	ns	ns	A	A
Preparation ease	34.225	< 0.0001	***	85.002	< 0.0001	***	C	B	A	0.093	0.7609	ns	A	A
Compliance with instructions	5.659	< 0.0001	***	12.256	< 0.0001	***	B	B	A	1.412	0.2354	ns	A	A
Preparation time	39.010	< 0.0001	***	96.999	< 0.0001	***	A	B	C	0.406	0.5245	ns	A	A
Cooking time	24.397	< 0.0001	***	60.322	< 0.0001	***	A	B	B	0.026	0.8725	ns	A	A
Weight before	42.868	< 0.0001	***	1.185	0.3067	ns	A	A	A	104.101	< 0.0001	***	A	B
Weight after	50.592	< 0.0001	***	3.016	0.0501	ns	A	A	A	115.718	< 0.0001	***	A	B
Cooking yield	2.039	0.0723	ns	ns	ns	ns	A	A	A	ns	ns	ns	A	A
Hunger (before)	0.189	0.9666	ns	ns	ns	ns	A	A	A	ns	ns	ns	A	A
Hunger (after)	1.470	0.1984	ns	ns	ns	ns	A	A	A	6.994	0.0085	**	A	A
Hunger (difference)	387.141	< 0.0001	***	957.891	< 0.0001	***	B	B	A	1.091	0.2969	ns	A	A
Desire for the pizza after cooking	7.876	< 0.0001	***	4.995	0.0072	**	A	B	AB	28.039	< 0.0001	***	A	B
Liking	8.219	< 0.0001	***	5.857	0.0031	**	A	B	B	27.610	< 0.0001	***	A	B
% consumed	1.166	0.3251	ns	ns	ns	ns	A	A	A	0.058	0.8106	ns	A	A
Remaining pizza	3.219	0.0073	**	2.002	0.1364	ns	A	A	A	1.686	0.1948	ns	A	A
Remaining crust	1.587	0.1626	ns	ns	ns	ns	A	AB	B	2.006	0.1575	ns	A	A
Remaining ingredients	1.000	0.4172	ns	ns	ns	ns	A	A	A	ns	ns	ns	A	A

Only natural ingredients	2.976	0.0119	*	6.917	0.0011	**	A	A	B	0.000	1.0000	ns	A	A
Healthy	5.305	< 0.0001	***	8.243	0.0003	***	A	B	B	9.928	0.0017	**	B	A
Many additives	4.828	0.0003	***	11.747	< 0.0001	***	B	A	A	0.429	0.5129	ns	A	A
Eco-friendly	1.793	0.1132	ns	4.216	0.0154	*	A	A	B	0.467	0.4948	ns	A	A
Multiple processed/industrial ingredients	5.737	< 0.0001	***	14.042	< 0.0001	***	B	A	A	0.111	0.7396	ns	A	A
Good nutritional quality	6.861	< 0.0001	***	10.993	< 0.0001	***	A	B	B	9.124	0.0027	**	B	A
Very salty	1.126	0.3456	ns	ns	ns	ns	A	A	A	ns	ns	ns	A	A
Very satiating	4.324	0.0008	***	0.547	0.5792	ns	A	A	A	20.35	< 0.0001	***	A	B
Very fatty	14.097	< 0.0001	***	0.291	0.7480	ns	A	A	A	68.652	< 0.0001	***	A	B
Nutritionally balanced	9.552	< 0.0001	***	6.924	0.0011	**	A	B	B	30.231	< 0.0001	***	B	A
Low budget	6.804	< 0.0001	***	11.548	< 0.0001	***	B	B	A	10.912	0.0010	***	B	A
High end	7.168	< 0.0001	***	10.347	< 0.0001	***	A	A	B	12.243	0.0005	***	A	B



### 3.3.3.2 Overall liking and preferences

The industrial pizzas were significantly less preferred ( $5.36 \pm 1.09$  on a 7-point liking scale) than the assembled ( $5.73 \pm 1.03$ ) and homemade pizzas ( $5.74 \pm 1.17$ ) ( $P = 0.0031$ , **Table 26** & **Figure 59**). The four-cheese pizzas were preferred ( $5.88 \pm 0.97$ ) over the ham-and-cheese ones ( $5.33 \pm 1.17$ ) ( $P < 0.0001$ , **Table 26** & **Figure 59**).

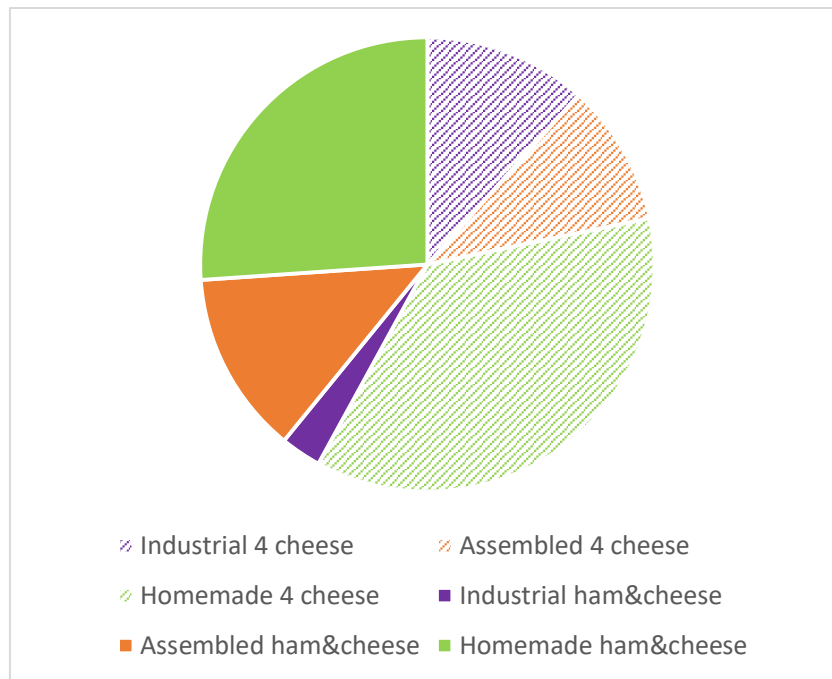


**Figure 59.** Overall liking scores for the different pizzas tasted (mean values  $\pm$  standard deviation) by the 69 participants.

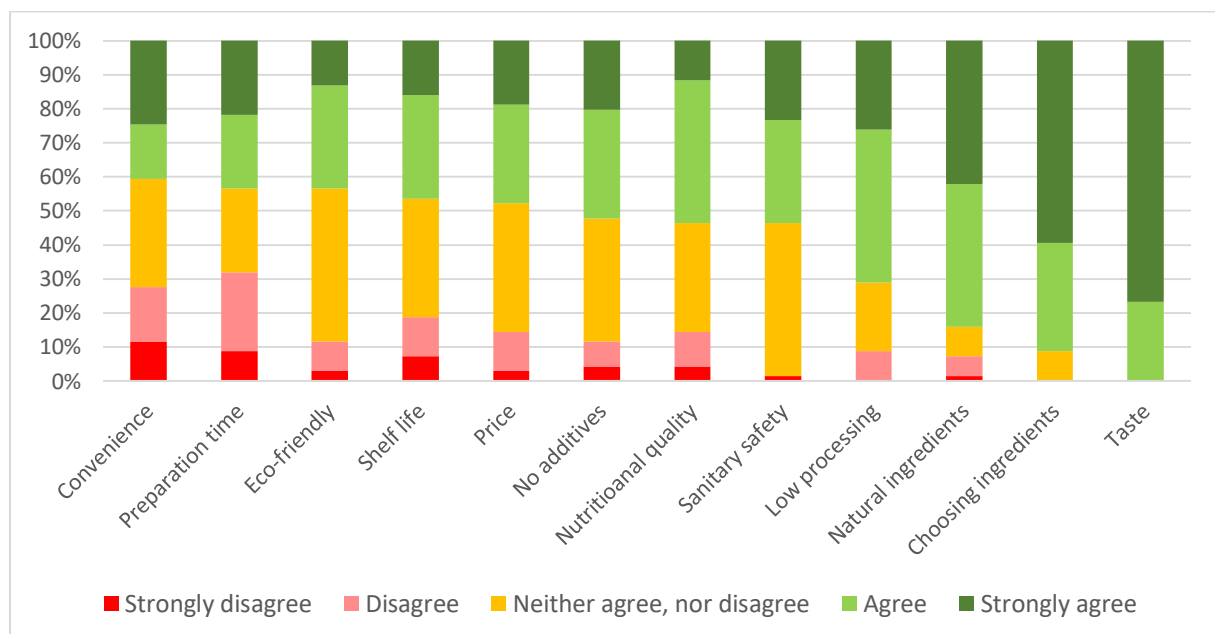
*Statistical groups determined by Bonferroni post-hoc tests are indicated by letters in ascending order (i.e.,  $B > A$ ). Groups with the same letter are not statistically different. H&C: ham-and-cheese, 4C: 4-cheese, I: industrial, A: assembled, H: homemade.*

After cooking and before tasting the assembled pizzas had a more appealing aspect than the industrial ones, but the homemade pizzas did not differ from the other two types of pizza in that regard (**Table 26**).

When asked which pizza they would make again if they had to prepare one the following week, participants largely favored the homemade pizzas (**Figure 60**). In particular, the homemade four-cheese pizza appeared to be the favorite, while the industrial ham-and-cheese pizza was the least selected ( $P = 0.01$  for the  $\chi^2$  test). The main motives behind these choices are presented in **Figure 61**. In brief, taste was the main criterion in this decision, followed by the ability to choose ingredients, particularly natural and minimally processed ones (**Figure 61**).



**Figure 60.** Type of pizza the participants would prepare again if they had to eat a pizza (n = 69).



**Figure 61.** Motives for choosing the next pizza they would prepare (cf. Figure 60).

### 3.3.3.3 Sensory characteristics of the pizzas

For a given recipe, participants viewed all three types of pizzas as equivalent in their salt and fat content (Table 26), which matched the nutritional information calculated from their formulations. The four-cheese pizzas were perceived to contain more fat than the ham-and-cheese pizzas (Table 26). There were no differences among the three preparation modes or the two pizza recipes in the overall quantity of pizza

consumed; the only difference noted was that more crust tended to be left for the homemade pizzas compared to the industrial ones (**Table 26**).

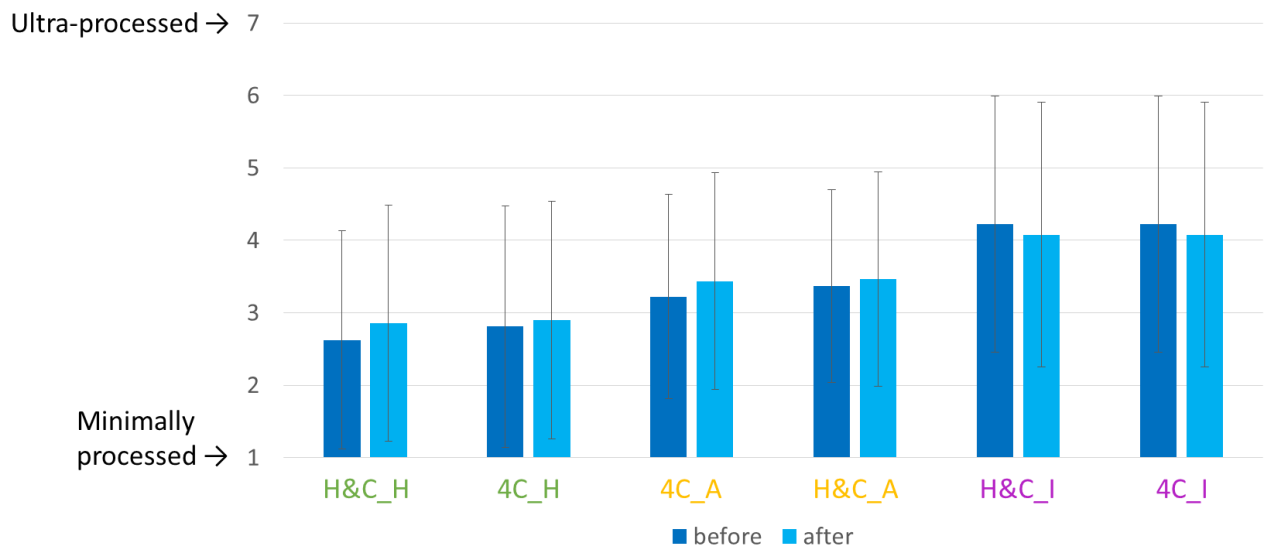
#### *3.3.3.4 Perceptions of the nutritional characteristics of pizzas*

Overall, the industrial pizzas were perceived as less healthy than the assembled and homemade ones, and the four-cheese pizzas were seen as less healthy than the ham-and-cheese pizzas. The industrial, assembled, and fully homemade pizzas were reported to be equally satiating, while the four-cheese pizzas were perceived as more satiating than the ham-and-cheese pizzas (**Table 26**). However, when we examined the degree of hunger recorded by the participants before and after eating, it appeared that industrial and assembled pizzas were more satiating than homemade pizzas (**Table 26**). No difference was noted between ham-and-cheese and four-cheese pizzas in this regard.

Correspondingly, the panel judged the nutritional quality of the industrial pizzas to be lower than that of the assembled and homemade pizzas (**Table 26**). The ham-and-cheese pizzas were seen as more nutritionally balanced than the four-cheese ones, which reflected their actual caloric content.

#### *3.3.3.5 Perceptions of the degree of transformation*

Both before and after preparing the pizzas, the panel viewed the industrial pizzas as more processed ( $4.07 \pm 1.73$  on a 7-point scale after preparing the pizza) than the assembled pizzas ( $3.45 \pm 1.48$ ), and both of these were considered to be more processed than the homemade pizzas ( $2.88 \pm 1.63$ ) (**Table 26 & Figure 62**). The recipe had no effect on these perceptions ( $P > 0.9$ , **Table 26**). The act of preparing the pizza did not significantly modify perceptions of the processing degree (**Table 26**), although industrial pizzas tended to be seen as less transformed after preparation, while the opposite trend was observed for homemade and assembled pizzas (**Figure 62**).



**Figure 62.** Perceived degree of transformation of the pizzas, before and after cooking it.

$P > 0.05$  (Friedman test) for the comparison of values before and after cooking. H&C: ham-and-cheese, 4C: four-cheese, I: industrial, A: assembled, H: homemade.

According to the participants, the industrial pizzas were more likely to contain multiple processed ingredients than the others (**Table 26**), while the homemade pizzas were more likely than the two other types to be made of “only natural ingredients” (**Table 26**). In addition, the industrial pizzas were perceived as the most likely to have many additives (**Table 26**).

### 3.3.3.6 Other perceptions

The homemade pizzas were perceived to be more high-end than the industrial and assembled pizzas, which were both seen as more low-budget (**Table 26**). The ham-and-cheese pizzas were also perceived to be lower budget than the four-cheese pizzas (**Table 26**). Globally, however, none of the pizzas was perceived as particularly low-budget (mean scores from 1.87 to 2.88 to on a 5-point scale).

Finally, the homemade pizzas were perceived to be more eco-friendly than the two other types (**Table 26**).

## 3.3.4 Discussion

### 3.3.4.1 Preference for homemade pizzas

Overall, all the pizzas were well appreciated, with mean liking scores from 4.99 to 5.99 on a 7-point scale, **Figure 59**). This result is consistent with the nature of pizza as a hedonic product (Papies et al., 2007), which was also reflected in the widespread agreement on the main criterion determining choice: taste (**Figure 61**). Previous research has documented that taste is one of the most important factors shaping food

choices (Shepherd, 2001; Recio-Román et al., 2020), and is even more salient for hedonic products such as pizza.

Even though the homemade pizzas were the most time-consuming, they were widely appreciated and approved of by the panel in this study. Indeed, despite the considerable time and effort involved in preparing the dough and tomato sauce from scratch, the homemade pizzas were judged as only slightly complicated to prepare. In other words, the time and effort required for the preparation of homemade pizza paid off in terms of the benefits derived, such as naturalness, healthiness, and personalization. This echoes previous research in a Dutch population on the subtle balance governing the choice between ready-to-eat and homemade meals (Costa et al., 2007). Furthermore, it is likely this balance was, and may continue to be, altered by events such as the COVID-19 lockdowns (Mazza et al., 2021). Taken together, these results emphasize the importance of considering the entire framework that shapes consumer choices, and highlight the difficulty of divorcing any single factor from the larger context.

In particular, the panel agreed that the homemade pizzas were more natural (90% agreement), healthier (86%), tastier (74%), and more respectful of the environment (67%) than the industrial products (Figure 63). In addition, the differences noted among the three preparation methods were stable throughout the course of the study: the final rankings given at the end of the experiment (Figure 64) were consistent with those obtained from each individual tasting during the experiment (Table 26). These multiple positive perceptions might be the result of a health halo (Berry et al., 2017; Devia et al., 2021) surrounding the homemade pizzas.

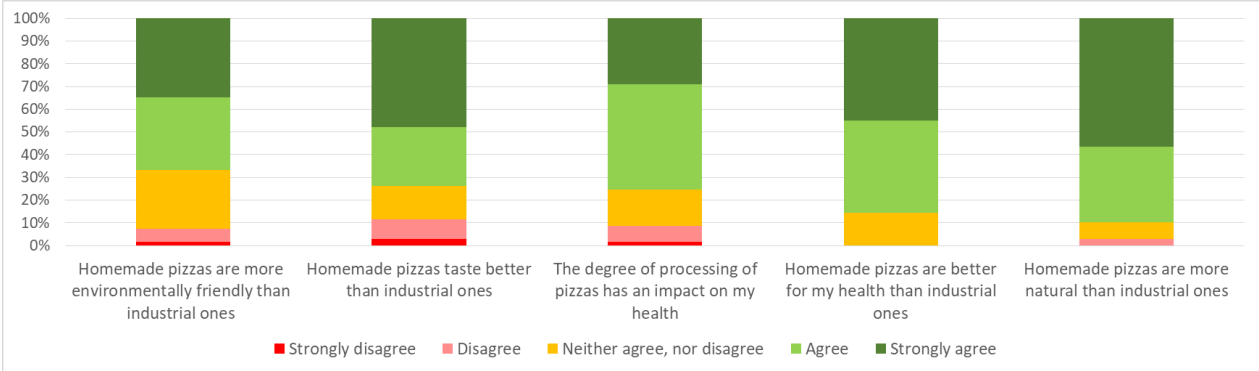
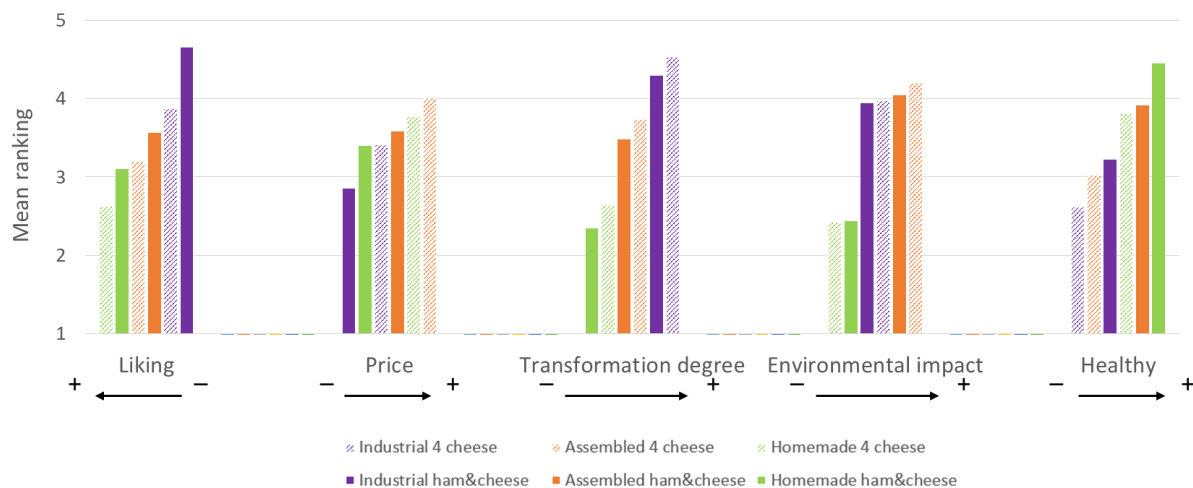


Figure 63. Degree of agreement to different assertions about homemade pizzas.



**Figure 64.** Average of the final rankings given by the 69 participants after having consumed all six pizzas.

Looking beyond health, the assembled and homemade pizzas received higher satisfaction scores related to personalization than the industrial pizza. Unsurprisingly, preparation time was reported to be shorter for the assembled pizzas than the fully homemade ones.

The observed preference for the homemade pizzas (and, to a lesser extent, for the assembled pizzas) might also be influenced by the participants' pride in preparing the pizza themselves. Indeed, research has demonstrated that products designed by the end-user tend to be preferred over already-prepared products (Franke & Schreier, 2010). To detach this effect, it would be interesting to present the different pizzas to a naive panel, just to taste and without having to prepare the pizzas.

However, the gap between the preference for homemade pizzas and their previous consumption by the panel calls for caution (Figure 58). While this may be a real discovery for the 30% of the panel who had never made pizza at home, it may reflect a desirability bias (Baraldi et al., 2018).

### 3.3.4.2 Healthiness perception

As described in the results, the four-cheese pizzas were perceived to be more satiating, fattier, and less healthy, but more high-end and preferred than the ham-and-cheese pizzas. It is possible that feelings of satiety might have been influenced by the physical weight of the pizzas, as the four-cheese pizzas were heavier overall than the ham-and-cheese ones. However, in this case participants' perceptions were in accordance with the actual energy density of the products: four-cheese pizzas were around 245 kcal.100 g<sup>-1</sup> while ham-and-cheese pizzas were around 215 kcal.100 g<sup>-1</sup> with a Nutri-Score C versus a Nutri-Score B, respectively.

In addition, a clear correlation was observed between healthiness and naturalness. This result is in agreement with the works of the literature (Ares et al., 2016;

Augustin et al., 2016; Machin et al., 2020), which also showed the complexity and the need to apply a heuristic approach to better understand naturalness perception in ultra-processed food categories.

#### 3.3.4.3 Processing perception

As opposed to healthiness perception, perceptions of the degree of processing did not quite match reality. Both before and after preparation, participants ranked the three preparation methods in a clear hierarchy with respect to processing, with homemade pizzas viewed as the least processed and industrial pizzas as the most, with assembled pizzas in the middle. These results are in line with those of Abouab and Gomez (Abouab & Gomez, 2015) showing that handmade food products are perceived more natural (and also more processed) than products resulting from machine-made production (like industrial pizzas). But in actuality, the Process-Scores calculated for each method were not significantly different. This discrepancy between perception and objective score confirms the difficulty for consumers to really evaluate the transformation of products, already observed in literature (Román et al., 2017).

The only difference with respect to processing degree was observed between the four-cheese pizzas and the ham-and-cheese pizzas, with a higher Process-Score calculated for the former ( $38.9 \pm 0.3$  versus  $32.2 \pm 0.9$ , respectively).

#### 3.3.4.4 Eco-friendly perception

Similarly to processing perceptions, the present work showed that homemade pizzas were perceived as more eco-friendly than the assembled and industrial pizzas. However, a life cycle analysis (LCA) conducted in parallel with this study concluded that there was only little difference in the environmental impacts of these three pizza preparation methods (Cortesi et al., 2022).

These results highlight some of the ways in which consumers' perspectives may not reflect reality. As for the recipes, they had a different impact on the different LCA indicators, which did not allow us to draw a general conclusion on their environmental impact. We also need multi-criteria approaches combining environment, nutrition and consumer perceptions and expectations to contribute to the food transition.

#### 3.3.4.5 Home use test

This study was conducted under home-use test conditions, which means that the results are more likely to represent consumers' daily realities and common attitudes than a similar study conducted in a professional setting. Moreover, by having the participants prepare the pizzas themselves, this experiment made the participants more involved in the different processing methods than they would have been in a more classical setup in which they tasted different pizzas and were presented with information on their origin. It would be interesting to compare the two approaches in

order to see if preparing the pizza themselves makes consumers appreciate it more (e.g., feeling of pride) or if they instead appreciate it more when it is already ready to eat.

The majority of ingredients were left in their original packaging for the sake of product conservation and logistics. Repackaging them in neutral packaging would have prevented visual bias, but might also have altered the consumers' perceptions, for example toward the naturalness of the ingredients.

### 3.3.5 Conclusion

In sum, industrial pizzas were the least appreciated by the participants in this study; compared to the other types of pizza tested, industrial pizzas were perceived to be of lower quality, less healthy, more transformed, and most likely to contain additives and processed ingredients. On the other hand, homemade pizzas were perceived as more high-end than the others, and more likely to only have natural ingredients. Assembled pizzas represented an interesting intermediate: in some ways, they were viewed as similar to the industrial pizzas (e.g., eco-friendly, high end), while in other aspects they were closer to the homemade pizzas (e.g., liking, healthiness, nutritional quality) or clearly in between (e.g., transformation degree, preparation time).

Distinct differences were noted in the perceptions of the two recipes tested here, particularly with respect to nutritional quality, satiation, and liking. This suggests that further work is required on different food models to better understand the influence of the preparation method on consumers' perceptions and preferences. In particular, more research on the environmental impacts of different processing methods might support or challenge the overall favorable perceptions of homemade processing.

### **CRedit authorship contribution statement**

**Bastien Maurice:** Conceptualization, Data curation, Formal analysis, Investigation, Visualization, Writing – original draft. **Marine Colpaert:** Investigation, Formal analysis. **Isabelle Souchon:** Conceptualization, Funding acquisition, Supervision, Writing – review & editing. **Adeline Cortesi:** Investigation, Writing – review & editing. **Caroline Pénicaud:** Funding acquisition, Writing – review & editing. **Aurélia Pernin:** Supervision, Writing – review & editing. **Anne Saint-Eve:** Conceptualization, Funding acquisition, Supervision, Writing – review & editing.

### **Conflicts of interest**

The authors declare no conflict of interest.

### **Funding**

This research was funded by Qualiment<sup>®</sup> and supported by the ANR (agreement #20 CARN 0026 01) in the framework of its 2019 call for scientific resourcing projects, along with a Ph.D. grant to Bastien Maurice, co-funded by the French National Institute



for Agricultural Research (INRAE) and the doctoral school ABIES of Paris-Saclay University.

### **Acknowledgments**

The authors would like to thank David Forest for his crucial technical support, as well as Lindsay Higgins for correcting the English of the manuscript.

Cette dernière section de résultats permet d'apprécier les préférences et perceptions des consommateurs dans un contexte réaliste de préparation alimentaire à domicile, afin d'aller plus loin dans la question de recherche Q3. Par une démarche originale, nous avons pu comparer les trois modes de préparation et mettre en lumière des différences marquées de perceptions, malgré des compositions très similaires d'un point de vue nutritionnel. Cependant, ces perceptions n'étaient pas toujours en accord avec les propriétés intrinsèques des pizzas, ce qui révèle une certaine dissonance côté consommateur.

**Ce dernier chapitre de résultats a permis d'en apprendre davantage sur les attentes et les préférences des consommateurs selon les modes de transformation des produits. En particulier, les produits faits maison tels que la pizza et le pain de mie ont été les plus appréciés. Par ailleurs, les produits industriels étaient perçus comme étant les plus transformés. Certaines contradictions ont également été relevées, à l'image des pizzas faites maison perçues de meilleure qualité nutritionnelle que celles industrielles, contrairement à ce qu'a pu montrer l'étude de leurs caractéristiques nutritionnelles, révélant un meilleur profil pour les pizzas industrielles.**

**Il est intéressant de confronter différents espaces produits, de complexité variable : pain de mie (que l'on ne mange pas seul) *versus* pizza (qui a un rôle central dans un repas).**

## 4 CHAPITRE 4. DISCUSSION GÉNÉRALE

---

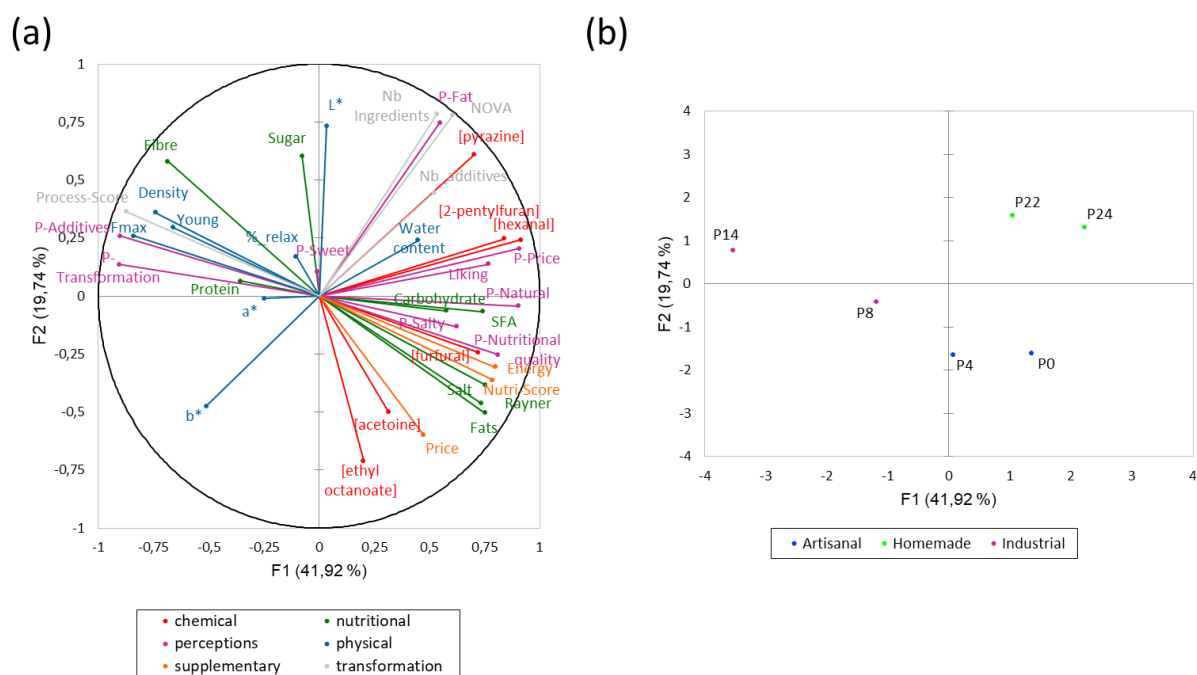
Après avoir décrit et commenté les différents résultats obtenus lors de ce travail de thèse, ce chapitre a pour objectif de croiser les différentes approches et de discuter d'une manière plus globale sur la comparaison des mesures objectives (i.e., mesures physico-chimiques ou nutritionnelles, recettes, indicateurs de transformation) et subjectives (i.e., représentations de dimensions évaluées par le consommateur), la comparaison des espaces produits étudiés et de leurs modes de préparation, pour finalement envisager des recommandations qui pourraient être utiles pour différents acteurs : transformateurs, pouvoirs publics ou consommateurs.

### 4.1 COMPARAISON DES MESURES OBJECTIVES ET SUBJECTIVES

#### 4.1.1 Les perceptions des consommateurs sont-elles en accord avec les mesures objectives dans le cas des pains de mie ?

Afin de comparer les mesures objectives et subjectives, une analyse factorielle multiple (AFM) a été réalisée et permet d'accorder le même poids à chaque groupe de variables (i.e., autant de poids aux variables nutritionnelles qu'aux données chimiques). Les données traitées sont celles des six pains de mie présentés aux consommateurs en section 3.1, et dont les paramètres ont été étudiés dans la section 2.3.

La **Figure 65** permet d'illustrer en parallèle les quatre variables liées à la transformation (nombre d'ingrédients et d'additifs, NOVA, Process-Score), les dix variables liées à la nutrition (teneurs en lipides, acides gras saturés, glucides, sucres, fibres, protéines, sel, score de Rayner et en variables supplémentaires densité énergétique et Nutri-Score, ne prenant pas part aux calculs car directement liées aux autres variables), les huit variables physiques (densité,  $F_{max}$ , pourcentage de relaxation, module Young,  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ , teneur en eau calculée), les six variables chimiques (concentrations en 2-pentylfurane, pyrazine, acétoïne, furfural, hexanal et octanoate d'éthyle), et les neuf en lien avec les perceptions des consommateurs (appréciation, perceptions du gras, salé, sucré, du nombre d'additifs, d'un produit sain, du prix, de la naturalité, de la transformation) (**Figure 65a**).



**Figure 65.** (a) Représentation des corrélations entre les 38 variables étudiées, organisées en six groupes de variables, pour les 6 pains de mie étudiés, par une Analyse Factorielle Multiple (F1 + F2 = 61,66%). (b) Biplot des 6 pains de mie.

Sur les pains de mie étudiés, la corrélation entre les taux de sucre et la perception de sucré n'était pas significative ( $r = 0,59$ ), même si une large tendance est observée en **Figure 65a**. De même pour le sel ( $r = 0,70$ ) où la corrélation entre teneur en sel et perception salée n'était pas significative. La perception du gras et la teneur en lipides n'était pas du tout corrélées ( $r = -0,03$ ), ce qui est visible sur la **Figure 65a** avec les deux variables orthogonales. Ces résultats peuvent s'expliquer à la fois par le faible nombre de pains de mie étudiés, ou par des différences de composition trop faibles pour avoir des conséquences sensorielles.

Concernant le score de Rayner et la perception d'un produit de « bonne qualité nutritionnelle », la corrélation n'est pas significative, malgré un coefficient  $r$  de 0,81 et des variables proches sur la **Figure 65a**. On observe cependant une tendance qui apparaît surprenante : le pain artisanal P0 était celui avec le moins bon score de Rayner (équivalent à un Nutri-Score D) est pourtant celui qui a été perçu avec la meilleure qualité nutritionnelle.

Le nombre d'additifs réel n'était pas corrélé à la perception qu'avaient les consommateurs ( $r = -0,39$ ). Concernant la perception de la transformation, opposée à la perception de naturalité ( $r = -1,00$ ) avec des variables diamétralement opposées en **Figure 65a**, elle n'était pas significativement corrélée au Process-Score mais présentait un coefficient de corrélation  $r$  de 0,80. Ainsi, le pain artisanal P0 avec le plus faible Process-Score (41,8) était bien celui avec la perception d'un produit ayant subi une faible transformation, alors que le P14 industriel avec le plus fort Process-Score était

celui avec la plus forte perception de transformation.

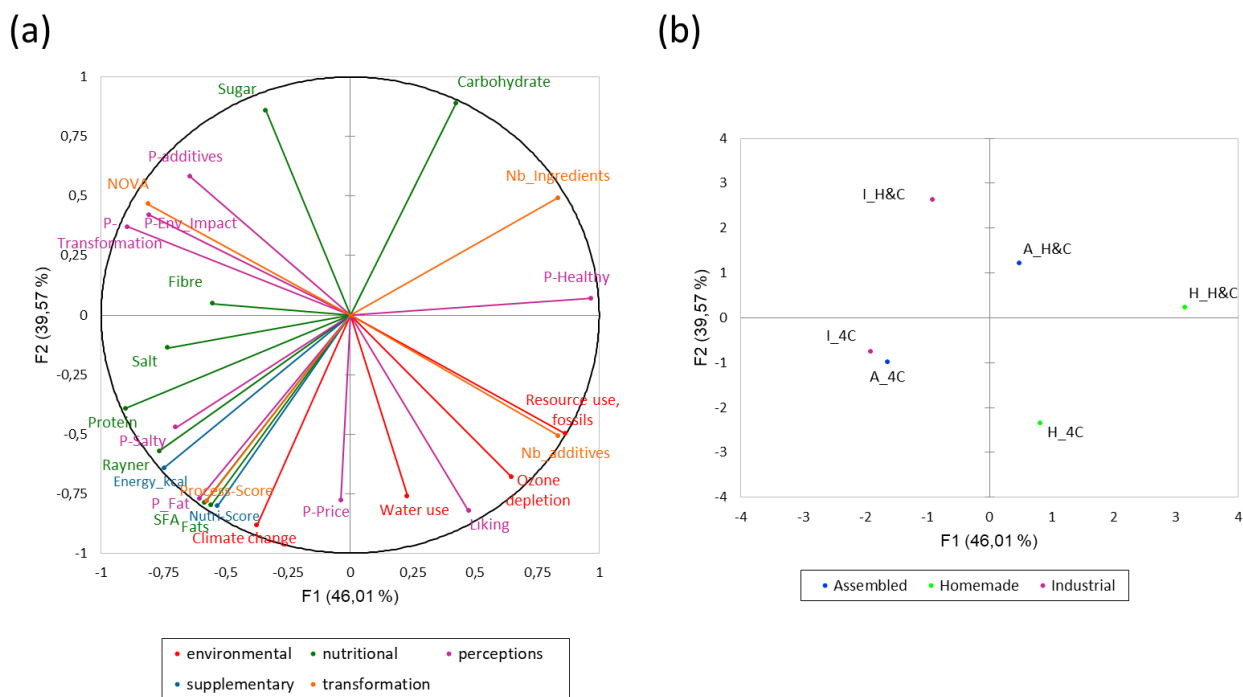
Concernant les variables économiques, le prix perçu n'est pas en adéquation avec le prix réel ( $r = 0,43$ ) (**Figure 65a**), bien qu'il soit compliqué de chiffrer les coûts lors de la préparation d'un pain de mie maison (i.e., faut-il ou non prendre en compte le temps de celui qui prépare). En effet, les consommateurs voyaient les pains de mie maison comme plus chers, les industriels comme les moins chers et les artisanaux entre deux (**Table 18a**) ; alors que dans les faits les artisanaux étaient nettement plus chers (environ 7€ le kg) que les faits maison (environ 4€ le kg, sans prendre en compte la main d'œuvre) et les industriels (environ 2€ le kg). Les perceptions des consommateurs sur les coûts associés aux modes de préparation sembleraient donc ici en accord avec les coûts réels intégrant les coûts du temps de préparation (Tharrey et al., 2020).

Par ailleurs, les corrélations déjà discutées précédemment entre deux variables objectives (e.g., Nutri-Score et densité énergétique) ou deux variables subjectives (e.g., degré de transformation perçu et nombre d'additifs présumé) se retrouvent également ici.

Finalement, l'illustration proposée par la **Figure 65b** permet de distinguer les trois modes de production de pains de mie, avec notamment P14 qui se distingue de P8 au sein des pains de mie industriels.

#### 4.1.2 Les perceptions des consommateurs sont-elles en accord avec les mesures objectives dans le cas des pizzas ?

En appliquant la même démarche aux six pizzas étudiées en chapitre 6 (pizza jambon fromage et pizza 4 fromages déclinées selon trois modes de préparation : industriel, assemblée et fait maison), l'AFM présentée en **Figure 66** illustre l'ensemble des variables étudiées pour caractériser ces pizzas. Quatre variables liées à la transformation sont donc reprises (nombre d'ingrédients et d'additifs, NOVA, Process-Score), ainsi que les 10 variables liées à la nutrition (teneurs en lipides, acides gras saturés, glucides, sucres, fibres, protéines, sel, score de Rayner et en variables supplémentaires densité énergétique et Nutri-Score), 4 variables liées à l'impact environnemental (changement climatique, appauvrissement de la couche d'ozone, utilisation de l'eau, utilisation des ressources fossiles (Cortesi et al., 2022)), et 8 variables en lien avec les perceptions des consommateurs (appréciation, perceptions du prix, de la transformation, de l'impact environnemental, d'un produit sain, du gras, du salé, et de la présence d'additifs) (**Figure 66a**).



**Figure 66.** (a) Représentation des corrélations entre les 26 variables étudiées, organisées en cinq groupes de variables, pour les 6 pizzas étudiées, par une Analyse Factorielle Multiple (F1 + F2 = 85,58%). (b) Biplot des 6 pizzas.

*I : Industrielle, A : Assemblée, : H : Faite maison, 4C : 4 fromages, H&C : Jambon fromage*

Comme pour le pain de mie, il n’y avait pas de corrélation entre teneur en sel et perception salée ( $r = 0,09$ ) même si les variables sont relativement proches sur la **Figure 66a**. En revanche, la corrélation entre la perception de gras et la teneur en lipides était très forte ( $r = 1,00$ ) comme le montre la proximité entre les deux variables en **Figure 66a**.

La perception de pizza « bonne pour la santé » était anti-corrélée au Process-Score ( $r = -0,89$ ), sans être significativement corrélée au score de Rayner ( $r = -0,77$ ). Néanmoins les tendances étaient en accord avec la pizza jambon fromage faite maison vue comme la meilleure pour la santé, présentant le meilleur score de Rayner (Nutri-Score A) et un des plus faibles Process-Score (32,2), en opposition à la pizza 4 fromages industrielle vue comme la moins bonne pour la santé, avec un Rayner de 8 (Nutri-Score C) et le plus fort Process-Score (39,2).

La perception de transformation n’est pas apparue corrélée au Process-Score ( $r = 0,60$ ), avec néanmoins la pizza 4 fromages industrielle ayant le plus haut Process-Score (39,2) vue comme la plus transformée. Les consommateurs percevaient les pizzas industrielles plus transformées que les assemblées, elles-mêmes plus transformées que les faites maison, alors que le Process-Score distinguait les pizzas 4 fromages plus transformées que les jambon fromage, peu importe le mode de production. La corrélation entre la perception de transformation et le score NOVA était plus probante bien que non significative ( $r = 0,83$ ), comme le montre la proximité des variables en

**Figure 66a.** Le nombre d'additifs n'était quant à lui pas corrélé au sentiment de présence d'additifs dans le produit ( $r = -0,69$ ), avec plutôt un a priori avec des pizzas industrielles vues comme les plus riches en additifs et les pizzas faites maison en contenant le moins, alors qu'en réalité les pizzas industrielles présentaient le moins d'additifs (3 en moyenne) contre 7 en moyenne pour les faites maison. Cela peut s'expliquer par la nécessité de conserver séparément chaque produit et donc potentiellement d'utiliser davantage d'additifs différents (e.g., nitrites pour le jambon, stabilisant pour les olives, acidifiant pour la purée de tomates).

Un dernier point d'attention qu'il est intéressant de mentionner est l'aspect environnemental, dont certains résultats issus de la thèse d'Adeline Cortesi (UMR SayFood, 2019–2022) apportent une caractérisation objective de l'impact des différents modes de fabrication sur des critères environnementaux. La comparaison de ces résultats au regard de la perception des consommateurs est très intéressante à observer pour mieux comprendre ce qui motive ou interpelle les consommateurs face à des choix des modes de transformation de produits plus durables. En effet pour les consommateurs, les pizzas faites maison étaient perçues plus respectueuses de l'environnement que les pizzas industrielles et celles assemblées à partir d'ingrédients industriels. Néanmoins, d'après l'approche d'analyse de cycle de vie menée par Cortesi et al., il apparaît qu'il n'y a pas de différence significative d'impact environnemental entre les trois modes de préparation de pizzas étudiés (Cortesi et al., 2022). Une équipe suédoise avait déjà tenté en 2005 de comparer par analyse de cycle de vie l'impact de repas faits maison, prêts à l'emploi et entre les deux. La conclusion de ces travaux était également que la différence d'impact entre les trois scénarios de préparation était faible, l'impact de l'agriculture en amont étant prédominant (Sonesson et al., 2005). Ce décalage montre que les consommateurs ne sont pas bien avertis de ce qui est bénéfique ou non pour l'environnement. Ces résultats suggèrent que les transformations industrielles, malgré des transports et stockage des produits, ne sont pas plus impactantes pour l'environnement que celles réalisées à domicile.

De la même manière que pour les pains de mie, certaines corrélations déjà discutées précédemment peuvent également être retrouvées ici (e.g., Nutri-Score et densité énergétique).

Ainsi, la vue d'ensemble offerte par la **Figure 66b** permet clairement de différencier les 3 pizzas jambon fromage (partie supérieure du graphique) des 3 pizzas 4 fromages (partie inférieure du graphique). Il est également possible de distinguer de gauche à droite les pizzas industrielles, assemblées, puis faites maison. On notera en particulier la forte proximité entre la pizza 4 fromages industrielle et celle assemblée (**Figure 66b**).

#### 4.1.3 Comment aller plus loin ?

La validité des AFM ici présentées est à nuancer avec le faible nombre de produits étudiés (6 pizzas et 6 pains de mie), qu'il serait évidemment nécessaire de

renforcer avec davantage de produits afin de voir si les corrélations observées sont valides.

Afin d'aller plus loin dans l'interprétation, certains concepts tirés de la psychologie pourraient aider à comprendre les mécanismes pouvant expliquer ces différences de perceptions. En particulier, le principe de contagion peut permettre d'expliquer les associations faites entre certains produits industriels et leur manque de naturalité (e.g., association avec les additifs jugés artificiels) (Evans et al., 2010; Rozin, 2005). Cela pourrait également expliquer le côté vertueux associé aux produits faits maison. Les travaux de Gomez et al. ont par ailleurs montré que les produits naturels étaient vus comme un choix plus normal et moral que d'autres produits, jugés plus artificiels (Gomez, 2015). Il a également été avancé que la naturalité perçue dépend davantage de la transformation du produit que de son contenu (Gomez, 2015).

Toutefois, d'après ce que nos résultats suggèrent, la dissonance entre perception et approche analytique semble être un axe intéressant de réflexion dans une optique de communication s'adressant aux consommateurs, que cela provienne des industries agroalimentaires ou des pouvoirs publics.

Par ailleurs, la démarche de cartographie multicritères utilisée en chapitre 2 pourrait être enrichie par d'autres mesures, telles que l'activité de l'eau (en lien avec la conservation des produits) ou encore l'index glycémique pour faire le lien avec le comportement de consommation et la satiété des individus. Dans les exemples réalisés, il serait intéressant de compléter avec davantage de produits artisanaux et faits maison pour compléter la diversité de ces secteurs et les comparer aux produits industriels déjà caractérisés de manière plus exhaustive.

Ici, le travail a été plus abouti sur le pain de mie que la pizza, car cette dernière présentait davantage de variabilité en termes de composition que le pain de mie, et une hétérogénéité plus compliquée à intégrer pour obtenir des grandeurs caractéristiques (e.g., pour les échantillons, pour les tests rhéologiques). Mais afin d'aller plus loin dans cette étude, il serait également intéressant de réutiliser cette approche pour d'autres espaces produits. En particulier, il serait intéressant de décomposer la pizza en étudiant la diversité des principaux ingrédients séparément : sauces tomate, fromages et pâtes à pizza (relativement semblable au pain de mie, avec moins de produits différents disponibles).

## **4.2 COMPARAISON DES PRODUITS ET DE LEURS MODES DE PRÉPARATION**

### **4.2.1 Choix du produit et particularités**

Dans nos travaux, deux modèles différents ont été considérés. La pizza est un produit complexe, qui se suffit à lui-même et peut constituer le plat principal d'un repas. Le pain de mie est davantage un support pour des produits tartinables sucrés ou salés ou des produits de type sandwich. Il peut donc apparaître dans un très grand nombre

de contextes et de plats ou snacks, avec des quantités consommées non négligeables.

Par ailleurs, comme les analyses par espace produit l'ont montré, il n'est pas judicieux de traiter conjointement les données obtenues pour les deux espaces ensemble car ces derniers sont nettement différents. On peut par exemple citer que la perception d'un produit gras est parfaitement corrélée à la teneur en lipides pour les pizzas ( $r = 1,00$ ), alors qu'elle ne l'est pas du tout pour les pains de mie ( $r = -0,03$ ), ce qui traduit bien des spécificités pour chaque espace produit.

Notre étude a nécessité de sélectionner un nombre restreint et représentatif de produits de chaque espace produit. En effet, il n'était pas envisageable de réaliser des tests de caractérisations nutritionnelles, physico-chimiques ou sensorielles sur l'ensemble de la diversité des produits. L'approche par cartographie nous a permis de sélectionner un nombre restreint de produits en déterminant des sous-ensembles de produits similaires sur l'ensemble des produits du marché par une approche de classification (CAH). Nous avons ainsi choisi d'étudier une sélection de produits représentatifs qui couvre la diversité des produits du marché existant d'un point de vue composition et propriétés nutritionnelles. Cette approche a déjà été utilisée dans la littérature sur des cookies aux pépites de chocolat, dans l'objectif d'identifier des leviers de reformulation de produits plus sains et appréciés (Liechti et al., 2022). Une autre approche aurait pu être de sélectionner des produits avec les plus forts volumes de vente, afin de s'intéresser en priorité aux produits les plus consommés par les consommateurs.

La question d'utiliser une unique recette pour comparer tous les modes de production peut également être discutée. Le parti pris dans ces travaux de thèse a été de refléter la réalité en considérant toutes les variations multiples qu'entraînaient un changement de mode de production (e.g., recette, opérations de fabrication). Un travail en collaboration avec un industriel pourrait être envisagé pour poursuivre ce travail et permettre de sélectionner une recette et des ingrédients rigoureusement identiques afin d'identifier le rôle de chaque facteur séparément, sans biais liés aux variations des matières premières utilisées.

#### 4.2.2 Modes de préparation dépendant des produits

Par ailleurs, les modes de préparation sont également dépendants du type de produit sélectionné. Pour la pizza, nous avons envisagé au début de la thèse de travailler sur le mode de production artisanal en faisant appel à un camion à pizza, mais les contraintes sanitaires liées à la Covid ont fait pencher la balance vers une préparation à domicile plus adaptée. Cependant, dans le cas de la pizza, le mode de transformation artisanal et local est très intéressant à étudier pour comprendre s'il existe un intérêt environnemental à transformer et cuire des produits proches du domicile des consommateurs, au regard de la satisfaction des consommateurs pour ce type de produit artisanal.



Le lieu de consommation pourrait également faire l'objet d'une étude. En effet, la transformation en local pour un grand nombre d'individus, en restauration collective, présente certainement de grands intérêts. Déterminer et quantifier ces impacts, à la fois sur les qualités des produits, leur impact environnemental et l'impact sur les perceptions et appréciations des consommateurs seraient intéressant à étudier.

Pour certains produits, il est également possible de décliner différents niveaux de « fait maison », comme cela a été fait pour la pizza. En effet, nous avons proposé en chapitre 6 d'étudier une pizza faite maison et assemblée à partir d'ingrédients industriels (i.e., pâte prête à l'emploi, sauce prête à l'emploi...), et une pizza faite maison en incluant la préparation de la pâte et de la sauce. Nous aurions pu choisir de réaliser des tests en partant directement des tomates crues (et non d'un coulis de tomate), mais cela présentait un risque d'abandon des participants au cours de l'étude car le protocole aurait été plus long et complexe.

### 4.3 QUELLES INFORMATIONS AFFICHER POUR LES CONSOMMATEURS ?

Le souhait des consommateurs de s'informer sur leur alimentation est indéniable. Ces derniers ont pris conscience de l'importance de l'alimentation pour leur santé, et souhaitent y faire attention. Cela s'illustre notamment par l'attrait des consommateurs pour des applications telles que Yuka, OpenFoodFacts, Foodvisor ou encore Scan'Up, dont l'utilisation pendant les courses était estimée à 17% des consommateurs en 2019 (Soutjis, 2020).

Néanmoins, la compréhension et l'intégration de ces informations sont à examiner. Une revue de 2007 indiquait déjà que l'étiquetage nutritionnel était utilisé, avec néanmoins des difficultés à l'usage à mesure que la tâche devenait complexe (e.g., comparaison, calculs) (Cowburn & Stockley, 2005). Les auteurs concluaient alors que des aides d'interprétation seraient une piste afin d'aider les consommateurs. Plus récemment, il a été mis en avant que la plupart des consommateurs ne lisaient pas l'étiquetage alimentaire par manque de temps ou à cause de la surcharge en information (Moreira et al., 2019). Au contraire, certaines populations particulières comme les athlètes ou les personnes atteintes de maladies étaient plus sensibles à ces informations (Moreira et al., 2019). Les résultats vus en section 3.1.3.2.3 tendent également à confirmer ces tendances, avec une information qui est effectivement reçue par le consommateur. En effet, l'impact de l'information est très nettement marqué sur de nombreux paramètres (e.g., qualité nutritionnelle perçue, degré de transformation perçue, nombre d'additifs) (**Table 19**). Cependant, l'intégration de cette information peut être remise en question sur l'exemple de la qualité nutritionnelle des pains de mie, où les pains de mie industriels, initialement perçus comme ceux de moins bonne qualité, sont mieux perçus après information, sans pour autant être les mieux perçus alors que leur qualité nutritionnelle globale et leur Nutri-Score sont les plus favorables.

Il semble donc que le temps consacré par le consommateur à la lecture des

informations sur un emballage soit très restreint et nécessite donc une information très synthétique. Les consommateurs ne doivent donc pas être noyés sous une masse d'informations sans avoir les outils et/ou le temps pour les décrypter. Des multiples scores nutritionnels proposés (e.g., Nutri-Score, SENS (SAIN/LIM), Nutri-repère, Traffic-lights, Health star rating) (**Figure 67**), le Nutri-Score a été plébiscité, et semble être le plus efficace et facile à comprendre (Egnell et al., 2018, 2020; Dréano-Trécant et al., 2020). D'autres pistes plus récentes comme le Health Nutritional Index (HENI), exprimé en gain ou perte de minutes de vie saine (Cifelli et al., 2022), pourraient être une alternative intéressante plus compréhensible pour les consommateurs.



**Figure 67.** Exemple de différents systèmes d'étiquetage nutritionnels appliqués aux pizzas (Egnell et al., 2018).

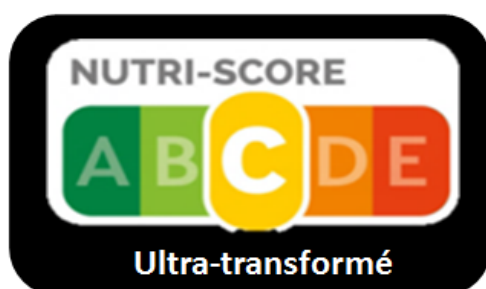
Il faut également prendre en compte les labels (dont certains vus en section 1.3.4) pouvant être vecteurs de différentes informations (e.g., origine, conditions de culture), sans oublier l'influence du « clean label » (Chen et al., 2022).

Le score NOVA est également régulièrement utilisé par certaines applications (e.g., par Yuka, OpenFoodFacts), et reprend des concepts tels que la limite de cinq ingrédients différents, ainsi que l'absence d'ingrédients qui ne sont pas familiers pour les produits transformés (NOVA3) (C. A. Monteiro et al., 2016). Mais comme nous l'avons vu, il peut parfois peiner à distinguer des produits d'une même catégorie, à l'image des pizzas et même d'un produit relativement simple comme le pain de mie qui sont pour la majorité en NOVA4. Ainsi, un score plus fin tel que le Process-Score pourrait permettre de mieux différencier les produits. Cependant, ce score est pour le moment un outil pour la recherche et ne vise pas à être un score affiché sur l'emballage.

L'avantage du Process-Score serait également de prendre en compte tout le processus de fabrication du produit, en plus du Nutri-Score qui fait un état des lieux nutritionnel du produit fini uniquement. Le score de naturalité Food Natural Index présenté par Sanchez-Siles et al. pourrait également faire office d'un score synthétique intéressant (Sanchez-Siles et al., 2019). L'Eco-Score gagne également en popularité, et est notamment repris par OpenFoodFacts afin de rendre compte de l'impact environnemental des produits. Ce dernier semble également pouvoir guider efficacement le consommateur vers des choix de produits plus respectueux de l'environnement, avec une charge d'informations réduite (Weber, 2021).

La synergie entre les différents scores est également à questionner, à l'exemple d'une étude belge ayant étudié les effets simultanés de l'Eco-Score avec le Nutri-Score, concluant qu'en l'état seul la qualité nutritionnelle s'améliorait dans les choix effectués par les consommateurs (De Bauw et al., 2021). Une autre étude étudiant un affichage simultané du Health Nutritional Index et d'un score d'empreinte carbone a conclu que les consommateurs donnaient la priorité aux informations sur la santé par rapport à celles concernant l'environnement (Pink et al., 2022). Une étude française en ligne de 2022 a également étudié l'utilisation de ces deux scores, ainsi que d'un score global étant la synthèse des deux sur des pizzas. Cela a permis de montrer l'intérêt des consommateurs français pour l'Eco-Score et son impact sur les choix alimentaires, même dans une moindre mesure que le Nutri-Score (Marette, 2022). Finalement, un prototype (Figure 68) d'étiquetage utilisant à la fois le Nutri-Score et le score NOVA a notamment été présenté par Serge Hercberg et Mathilde Touvier afin d'associer les deux approches. Il est donc proposé d'encadrer en noir le Nutri-Score des aliments ultra-transformés (i.e., NOVA4) afin de les identifier plus facilement. Toutefois, le travail réalisé dans le cadre de cette thèse montre que le score NOVA ne permet pas une bonne discrimination des produits au sein d'un même espace produit.

**Nutri-Score sur les emballages  
des aliments ultra-transformés**



**Nutri-Score sur les emballages des  
aliments non ultra-transformés**



**Aliments ultra-transformés = Nova 4**

**Figure 68.** Prototype d'affichage synthétique d'étiquetage nutritionnel présenté par l'EREN.

Il est donc possible de formuler certaines recommandations, à la fois pour les

industriels, les consommateurs et les pouvoirs publics.

## 4.4 RECOMMANDATIONS À FORMULER

### 4.4.1 Recommandations pour les industriels

La stratégie appliquée par les industriels face à de tels systèmes de notation a donc été de reformuler ses produits afin d'être mieux noté (Soutjis, 2020). Le problème de telles stratégies étant que le but est davantage de coller à la limite des seuils utilisés qu'à une réelle refonte vertueuse du produit. Ainsi, un ajout de fibres (e.g., inuline) pourrait être une amélioration « artificielle » afin d'avoir un score plus favorable.

Dans le cas de la pizza, une étude écossaise présentant la pizza comme de la « malbouffe » a montré qu'il était possible de reformuler une margherita afin qu'elle corresponde à ce qui est préconisé par les guides alimentaires, sans pour autant détériorer l'appréciation des consommateurs. En partenariat avec un industriel, une recette industrielle a été réadaptée, notamment en ajoutant de la farine complète, des algues et en réduisant le sel. Environ 80% de la centaine d'enfants et d'adultes interrogés ont considéré cette pizza comme aussi bonne ou meilleure que leur choix habituel (Combet et al., 2014).

En contrepartie, des scores comme NOVA pourraient inciter les industriels à réduire l'utilisation de certains ingrédients identifiés sans base scientifique comme marqueurs de l'ultra-transformation (e.g., gluten, sirop de glucose-fructose). Par ailleurs, comme souligné par Gomez et al., la modification des procédés de fabrication bénéficie d'un halo positif, par rapport à un changement en contenu (Gomez, 2015). Cela constituerait donc un premier angle d'attaque afin de coller au mieux à la demande de naturalité de la part des consommateurs.

De nouvelles gammes plus petites avec des pains de mie aux formulations plus simples (i.e., sans conservateurs) pourraient également être une piste pour satisfaire certains consommateurs.

### 4.4.2 Recommandations pour les consommateurs

Dans un climat de méfiance générale, il est nécessaire que le consommateur ne suive pas les yeux fermés les applications pouvant l'aider à décrypter les aliments. En effet, certains produits peuvent être mis en avant par les applications, alors que les algorithmes internes ne sont pas toujours transparents, et les critères (e.g., santé, éthique, bio, localisation) pris en compte ainsi que leurs poids respectifs varient (Soutjis, 2020).

La possibilité de personnaliser les informations scannées et mettre l'accent sur certaines données (e.g., présence de gluten, lactose) semble également être un point fort dans une optique de nutrition personnalisée et d'aiguillage du consommateur.

Évidemment, tout cela est à mettre en perspective avec deux autres facteurs capitaux pour les consommateurs : le goût et le prix. En effet, comme montré en **Figure 54** et mis en avant dans d'autres travaux, le prix et le goût sont deux des facteurs les plus importants pour les consommateurs (Baudry et al., 2017). Il s'agira donc pour le consommateur de trouver le compromis entre usage, points d'attention spécifiques et budget.

#### 4.4.3 Recommandations pour les pouvoirs publics

Les pouvoirs publics ont naturellement pris en main le sujet et guident les consommateurs et les professionnels, notamment par le Programme national nutrition santé (PNNS4 2019-2023) et ses communications Manger Bouger (<https://www.mangerbouger.fr>).

En Juillet 2018 a eu lieu une commission d'enquête parlementaire sur l'alimentation industrielle (« qualité nutritionnelle, rôle dans l'émergence de pathologies chroniques, impact social et environnemental de sa provenance »). Les conclusions suggèrent le « renforcement de l'information du consommateur sur la qualité nutritionnelle des produits, le développement de la transparence des informations et l'amélioration de la qualité nutritionnelle des produits grâce notamment à l'utilisation de moins d'additifs » (Crouzet, 2020). Plus récemment, l'office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques a tenu au Sénat le 22/09/2022 une audition sur le thème des conséquences de l'industrialisation de l'alimentation sur les habitudes et comportements alimentaires. Il s'agit donc bien d'un sujet dont s'emparent les pouvoirs publics, notamment concernant la question de l'affichage du score NOVA sur les emballages.

En écho à la section 4.3, il est essentiel de limiter les informations données aux consommateurs afin de ne pas les perdre sous une masse d'informations impossible à intégrer. Des campagnes de communication et d'éducation nutritionnelle de la population semblent également être un levier intéressant.

La surveillance semble également de mise, notamment vis-à-vis des réticences émises par l'ANSES concernant « la pertinence en matière de nutrition de systèmes d'information nutritionnelle destinés au consommateur » (ANSES, 2017a). Cet avis indiquait notamment que de tels scores excluaient certains micronutriments pertinents (e.g., vitamines et minéraux). D'autres craintes telles que la surconsommation de produits « verts » (e.g., A ou B) tels que les sodas édulcorés sont également évoquées. En ce sens, le Nutri-Score subira une révision fin 2022 « afin d'améliorer la capacité du Nutri-Score à discriminer la qualité nutritionnelle des produits au sein de certains groupes d'aliments (e.g., les matières grasses dont les huiles végétales, les poissons et produits de la mer, les produits céréaliers et en particulier le pain, ainsi que les produits laitiers dont les fromages), pour une meilleure cohérence avec les principales recommandations alimentaires » (Scientific Committee of the Nutri-Score, 2022).

Pour maintenir la confiance avec le consommateur, il semble essentiel de continuer l'encadrement des labels et de l'étiquetage des denrées alimentaires, en évitant toute tromperie aux consommateurs, comme le précise le règlement INCO.

**Cette discussion générale a permis de confronter l'ensemble des résultats apportés dans ce travail de thèse : différents espaces produits, différents modes de transformation, différents types de caractérisation, différentes approches consommateurs (attentes, perceptions, selon différents modes d'implication du consommateur).**

**Croiser les approches et les résultats obtenus sur les modèles pain de mie et pizza a permis de faire progresser la connaissance et apporter des éléments précis sur le débat médiatique que suscitent les aliments transformés, avec l'exemple de produits qui peuvent être transformés du domicile à l'industrie.**

**À moyen et long termes, des recommandations peuvent être émises envers les industriels, les consommateurs et les pouvoirs publics.**

## 5 CONCLUSION GÉNÉRALE ET PERSPECTIVES

---

En conclusion de ce travail doctoral, l'approche de cartographie multicritères a permis de mettre en évidence la variabilité intra-catégorie sur les plans nutritionnels et de la formulation de produits dit « ultra-transformés », tels que les pizzas et les pains de mie, et ce même dans une catégorie restreinte telle que les pains de mie nature.

Le développement du Process-Score a permis de décorrélérer la transformation alimentaire de leur formulation, là où des classifications telles que NOVA englobent ces deux dimensions et peinent à distinguer certains produits (e.g., majorité de pizzas en NOVA4). Ainsi, le Process-Score, relatif aux opérations unitaires subies par le produit, a permis d'apporter une information supplémentaire et différente des indicateurs les plus répandus que sont le Nutri-Score et NOVA. Cela a également mis en avant la similarité entre des produits industriels, artisanaux et faits maison qu'il s'agisse de pains de mie ou de pizzas, en lien avec la similarité des opérations réalisées. Il s'agit donc d'un outil de recherche prometteur, qui pourrait être appliqué à davantage de produits dans un but d'ajustement et potentiellement d'automatisation afin de pouvoir être utilisé par des organismes de recherche publiques ou privés et les pouvoirs publics.

L'étude sur 24 pains de mie a permis d'analyser précisément la diversité des paramètres « objectifs » d'ordre nutritionnel, de composition, de transformation et physico-chimiques. En particulier, cela a permis de montrer que les pains de mie industriels contenaient davantage d'ingrédients et d'additifs que les autres, tandis que les Process-Scores et les paramètres physiques étaient relativement similaires. L'analyse de la composition en molécules volatiles a révélé des profils différents, avec notamment davantage de marqueurs de l'oxydation dans les pains de mie industriels et davantage de marqueurs de la fermentation dans les pains de mie artisanaux. Cela a donc permis de mettre en lumière la nécessité de multiplier les approches afin de caractériser un aliment le plus précisément possible, et de pouvoir comprendre ce qui différencie plusieurs aliments d'un même groupe.

La confrontation aux perceptions des consommateurs dans un contexte de dégustation a permis de mettre en évidence certains écarts entre les mesures effectuées et les perceptions des consommateurs. Ainsi, les pains de mie industriels étaient évalués par les consommateurs comme étant, à l'aveugle, les moins favorables nutritionnellement, à l'inverse des résultats de Nutri-Scores au sein des 6 pains de mie évalués. À l'inverse, les pains de mie faits maison étaient perçus comme les plus naturels et meilleurs pour la santé. L'apport d'informations nutritionnelles et technologiques a eu une influence sur les perceptions des consommateurs, mais a été modulée par les croyances primaires des consommateurs (e.g., amélioration de la qualité nutritionnelle perçue des pains industriels, sans pour autant les mettre en première position comme c'est le cas d'après le Nutri-Score), ce qui soulève des questions sur la transmission de l'information aux consommateurs. D'autres



dissonances ont été mises en évidence pour les pizzas, notamment celles industrielles perçues comme plus transformées et avec davantage d'additifs que les autres, alors qu'elles n'étaient pas plus transformées que les autres et contenaient moins d'additifs. La perception d'un produit sain semblait être anti-corrélée au Process-Score pour les deux produits (significatif pour la pizza, tendance pour le pain de mie), alors que la perception du degré de transformation d'un pain de mie était anti-corrélée aux teneurs en lipides et sel, tandis que de telles corrélations n'ont pas été validées pour les pizzas.

Il a également été montré que certaines préoccupations (e.g., goût, naturalité, sécurité sanitaire) prédominaient sur d'autres (e.g., labels Fairtrade et bio). De plus, l'intensité et l'ordre de ces priorités étaient susceptibles de varier selon le mode de transformation du produit. Les considérations environnementales ont été mentionnées, et mériteraient d'être plus détaillées et intégrées dans la compréhension des choix, des préférences et des perceptions des consommateurs.

Certaines corrélations ont pu être mises en lumière dans ce travail de thèse, comme par exemple entre le Process-Score et le taux d'acides gras saturés, et plus largement entre le Process-Score et le Nutri-Score, ou encore entre la perception du degré de transformation d'un produit et la perception de son nombre présumé d'additifs. De même, le Process-Score s'est révélé ne pas être corrélé au nombre d'ingrédients ou au score NOVA pour les deux types de produits. Ces résultats restent néanmoins sujets à validation sur d'autres espaces produits.

Le manque de littérature comparant ces différents modes de transformation, en parallèle de la prise en main des pouvoirs publics et de l'intérêt des consommateurs pour des produits plus locaux et faits maisons laisse présager davantage d'études comparant ces modes de transformation, notamment en termes nutritionnels, de transformation et d'impacts sur l'environnement et de savoir communiquer avec le grand public.



## G. RÉFÉRENCES

---

- Abouab, N., & Gomez, P. (2015). Human contact imagined during the production process increases food naturalness perceptions. *Appetite*, *91*, 273-277.  
<https://doi.org/10.1016/j.appet.2015.04.002>
- Aguilera, J. M. (2019). The food matrix : Implications in processing, nutrition and health. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, *59*(22), 3612-3629.  
<https://doi.org/10.1080/10408398.2018.1502743>
- Aizaki, H., & Sato, K. (2020). Consumer preferences for three dimensions of country of origin of a processed food product. *British Food Journal*, *ahead-of-print*(ahead-of-print).  
<https://doi.org/10.1108/BFJ-10-2019-0762>
- Andersen, S. S., & Holm, L. (2018). Naturalness as a safe haven : Parental consumption practices and the management of risk. *Young Consumers*, *19*(3), 296-309.  
<https://doi.org/10.1108/YC-12-2017-00763>
- ANSES. (2017a). *Avis relatif à « l'analyse de la pertinence en matière de nutrition de systèmes d'information nutritionnelle destinés au consommateur »* (p. 44).
- ANSES. (2022). *Évaluation des risques liés à la consommation de nitrates et nitrites* (p. 306).
- ANSES. (2012a, décembre 7). *Le point sur les additifs alimentaires*. Anses - Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail.  
<https://www.anses.fr/fr/content/le-point-sur-les-additifs-alimentaires>
- ANSES. (2012b, décembre 7). *Les auxiliaires technologiques*. Anses - Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail.  
<https://www.anses.fr/fr/content/les-auxiliaires-technologiques>
- ANSES. (2017b). *Étude individuelle nationale des consommations alimentaires 3 (Inca 3)*.  
[www.anses.fr/fr/system/files/NUT2014SA0234Ra.pdf](http://www.anses.fr/fr/system/files/NUT2014SA0234Ra.pdf)

- ANSES. (2021, janvier). *Simulation de seuils de reformulation par famille d'aliments transformés et impact sur les apports en sucres, acides gras saturés, sel et fibres de la population française.*
- Aprile, M. C., Caputo, V., & Nayga, R. M. (2016). Consumers' Preferences and Attitudes Toward Local Food Products. *Journal of Food Products Marketing*, 22(1), 19-42. <https://doi.org/10.1080/10454446.2014.949990>
- Aquilani, B., Laureti, T., Poponi, S., & Secondi, L. (2015). Beer choice and consumption determinants when craft beers are tasted: An exploratory study of consumer preferences. *Food Quality and Preference*, 41, 214-224. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2014.12.005>
- Ares, G., Aschemann-Witzel, J., Curutchet, M. R., Antúnez, L., Machín, L., Vidal, L., & Giménez, A. (2018). Product reformulation in the context of nutritional warning labels : Exploration of consumer preferences towards food concepts in three food categories. *Food Research International*, 107, 669-674. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.03.021>
- Ares, G., Aschemann-Witzel, J., Curutchet, M. R., Antúnez, L., Machín, L., Vidal, L., Martínez, J., & Giménez, A. (2018). Nutritional warnings and product substitution or abandonment : Policy implications derived from a repeated purchase simulation. *Food Quality and Preference*, 65, 40-48. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2017.12.001>
- Ares, G., Aschemann-Witzel, J., Vidal, L., Machín, L., Moratorio, X., Bandeira, E., Curutchet, M. R., Bove, I., & Giménez, A. (2018). Consumer accounts of favourable dietary behaviour change and comparison with official dietary guidelines. *Public Health Nutrition*, 21(10), 1952-1960. <https://doi.org/10.1017/S1368980018000241>

- Ares, G., Vidal, L., Allegue, G., Giménez, A., Bandeira, E., Moratorio, X., Molina, V., & Curutchet, M. R. (2016). Consumers' conceptualization of ultra-processed foods. *Appetite, 105*, 611-617. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2016.06.028>
- Arshad, R. N., Abdul-Malek, Z., Roobab, U., Munir, M. A., Naderipour, A., Qureshi, M. I., El-Din Bekhit, A., Liu, Z.-W., & Aadil, R. M. (2021). Pulsed electric field : A potential alternative towards a sustainable food processing. *Trends in Food Science & Technology, 111*, 43-54. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.02.041>
- Aruoma, O. I. (2006). The impact of food regulation on the food supply chain. *Toxicology, 221*(1), 119-127. <https://doi.org/10.1016/j.tox.2005.12.024>
- Asfaw, A. (2011). Does consumption of processed foods explain disparities in the body weight of individuals? The case of Guatemala. *Health Economics, 20*(2), 184-195. <https://doi.org/10.1002/hec.1579>
- Asioli, D., Aschemann-Witzel, J., Caputo, V., Vecchio, R., Annunziata, A., Næs, T., & Varela, P. (2017). Making sense of the “clean label” trends : A review of consumer food choice behavior and discussion of industry implications. *Food Research International, 99*, 58-71. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.07.022>
- Augustin, M. A., Riley, M., Stockmann, R., Bennett, L., Kahl, A., Lockett, T., Osmond, M., Sanguansri, P., Stonehouse, W., Zajac, I., & Cobiac, L. (2016). Role of food processing in food and nutrition security. *Trends in Food Science & Technology, 56*, 115-125. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.08.005>
- Baker, P., Machado, P., Santos, T., Sievert, K., Backholer, K., Hadjidakou, M., Russell, C., Huse, O., Bell, C., Scrinis, G., Worsley, A., Friel, S., & Lawrence, M. (2020). Ultra-processed foods and the nutrition transition : Global, regional and national trends, food systems transformations and political economy drivers. *Obesity Reviews: An Official*

- Journal of the International Association for the Study of Obesity*, 21(12), e13126.  
<https://doi.org/10.1111/obr.13126>
- Baldwin, C. (2009). *Sustainability in the Food Industry*. Wiley-Blackwell.  
<https://doi.org/10.1002/9781118467589.ch9>
- Ballesteros, C., Poveda, J. M., Gonzalez-Vinas, M. A., & Cabezas, L. (2006). Microbiological, biochemical and sensory characteristics of artisanal and industrial Manchego cheeses. *Food Control*, 17(4), 249-255. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2004.10.008>
- Baraldi, L. G., Steele, E. M., Canella, D. S., & Monteiro, C. A. (2018). Consumption of ultra-processed foods and associated sociodemographic factors in the USA between 2007 and 2012 : Evidence from a nationally representative cross-sectional study. *BMJ Open*, 8(3), e020574. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2017-020574>
- Battacchi, D., Verkerk, R., Pellegrini, N., Fogliano, V., & Steenbekkers, B. (2020). The state of the art of food ingredients' naturalness evaluation : A review of proposed approaches and their relation with consumer trends. *Trends in Food Science & Technology*, 106, 434-444. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.10.013>
- Baudry, J., Péneau, S., Allès, B., Touvier, M., Hercberg, S., Galan, P., Amiot, M.-J., Lairon, D., Méjean, C., & Kesse-Guyot, E. (2017). Food Choice Motives When Purchasing in Organic and Conventional Consumer Clusters : Focus on Sustainable Concerns (The NutriNet-Santé Cohort Study). *Nutrients*, 9(2), Article 2. <https://doi.org/10.3390/nu9020088>
- Berry, C., Burton, S., & Howlett, E. (2017). It's only natural: The mediating impact of consumers' attribute inferences on the relationships between product claims, perceived product healthfulness, and purchase intentions. *Journal of the Academy of Marketing Science*, 45(5), 698-719. <https://doi.org/10.1007/s11747-016-0511-8>

- BFM Business. (2016, mars 8). *Les Français restent les premiers consommateurs de pizzas au monde*. BFM BUSINESS. [https://www.bfmtv.com/economie/consommation/les-francais-restent-les-premiers-consommateurs-de-pizzas-au-monde\\_AN-201603080202.html](https://www.bfmtv.com/economie/consommation/les-francais-restent-les-premiers-consommateurs-de-pizzas-au-monde_AN-201603080202.html)
- Bialkova, S., Sasse, L., & Fenko, A. (2016). The role of nutrition labels and advertising claims in altering consumers' evaluation and choice. *Appetite*, 96, 38-46. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2015.08.030>
- Bimbenet, J.-J. (1998). Bases conceptuelles du génie des procédés agroalimentaires. *Techniques de l'ingénieur Génie industriel alimentaire, base documentaire: TIB469DUO*.(ref. article: f1000). <https://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/procedes-chimie-bio-agro-th2/genie-industriel-alimentaire-42469210/bases-conceptuelles-du-genie-des-procedes-agroalimentaires-f1000/>
- Birch, A. N., Petersen, M. A., & Hansen, Å. S. (2013). The aroma profile of wheat bread crumb influenced by yeast concentration and fermentation temperature. *LWT - Food Science and Technology*, 50(2), 480-488. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2012.08.019>
- Birlouez, E. (2018). *Une brève histoire de la transformation des aliments : Des origines à l'ère industrielle*. 7.
- Bleiweiss-Sande, R., Bailey, C. P., Scheck, J., & Goldberg, J. P. (2020). Addressing Challenges with the Categorization of Foods Processed at Home : A Pilot Methodology to Inform Consumer-Facing Guidance. *Nutrients*, 12(8), 2373. <https://doi.org/10.3390/nu12082373>
- Bleiweiss-Sande, R., Chui, K., Evans, E. W., Goldberg, J., Amin, S., & Scheck, J. (2019). Robustness of Food Processing Classification Systems. *Nutrients*, 11(6), 1344. PubMed. <https://doi.org/10.3390/nu11061344>

- Botelho, R., Araújo, W., & Pineli, L. (2018). Food formulation and not processing level : Conceptual divergences between public health and food science and technology sectors. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 58(4), 639-650. <https://doi.org/10.1080/10408398.2016.1209159>
- Braesco, V., Souchon, I., Sauvant, P., Haurogné, T., Maillot, M., Féart, C., & Darmon, N. (2022). Ultra-processed foods : How functional is the NOVA system? *European Journal of Clinical Nutrition*, 1-9. <https://doi.org/10.1038/s41430-022-01099-1>
- Bratovanova, P. (1997). Diacetyl, Acetoin and Acetaldehyde in the Flavour of Doughy Part-Manufactured Goods and Bread, Prepared with Leavens of Lactococci and Lactobacilli. *Biotechnology & Biotechnological Equipment*, 11(1-2), 53-59. <https://doi.org/10.1080/13102818.1997.10818930>
- Buckley, J. P., Kim, H., Wong, E., & Rebholz, C. M. (2019). Ultra-processed food consumption and exposure to phthalates and bisphenols in the US National Health and Nutrition Examination Survey, 2013–2014. *Environment International*, 131, 105057. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.105057>
- Calais, A., & Thituson, M. (2021). *Comparison of Nutritional Content in Processed and Homemade Foods* [Master thesis]. <http://lup.lub.lu.se/student-papers/record/9052932>
- Canesin, M. R., & Cazarin, C. B. B. (2021). Nutritional quality and nutrient bioaccessibility in sourdough bread. *Current Opinion in Food Science*, 40, 81-86. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2021.02.007>
- Cappelli, A., Bettaccini, L., & Cini, E. (2020). The kneading process : A systematic review of the effects on dough rheology and resulting bread characteristics, including improvement strategies. *Trends in Food Science & Technology*, 104, 91-101. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.08.008>

- Carvalho, N. B., Minim, L. A., Nascimento, M., Ferreira, G. H. de C., & Minim, V. P. R. (2018). Characterization of the consumer market and motivations for the consumption of craft beer. *British Food Journal*, *120*(2), 378-391. <https://doi.org/10.1108/BFJ-04-2017-0205>
- Cayot, N. (2007). Sensory quality of traditional foods. *Food Chemistry*, *102*(2), 445-453. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.10.016>
- Cepeda-Vázquez, M., Rega, B., Descharles, N., & Camel, V. (2018). How ingredients influence furan and aroma generation in sponge cake. *Food Chemistry*, *245*, 1025-1033. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.11.069>
- Chai, D., Li, C., Zhang, X., Yang, J., Liu, L., Xu, X., Du, M., Wang, Y., Chen, Y., & Dong, L. (2019). Analysis of Volatile Compounds from Wheat Flour in the Heating Process. *International Journal of Food Engineering*, *15*(10). <https://doi.org/10.1515/ijfe-2019-0252>
- Chambers V, E., Tran, T., & Chambers IV, E. (2019). Natural: A \$75 billion word with no definition—Why not? *Journal of Sensory Studies*, *34*(4), e12501. <https://doi.org/10.1111/joss.12501>
- Chang, T.-Z. (Donald), & Vowles, N. (2013). STRATEGIES FOR IMPROVING DATA RELIABILITY FOR ONLINE SURVEYS : A CASE STUDY. *International Journal of Electronic Commerce Studies*, *4*(1), Article 1. <https://doi.org/10.7903/ijecs.1121>
- Chassaing, B., Wiele, T. V. de, Bodt, J. D., Marzorati, M., & Gewirtz, A. T. (2017). Dietary emulsifiers directly alter human microbiota composition and gene expression ex vivo potentiating intestinal inflammation. *Gut*, *66*(8), 1414-1427. <https://doi.org/10.1136/gutjnl-2016-313099>
- Chazan, M. (2017). Toward a Long Prehistory of Fire. *Current Anthropology*, *58*(S16), S351-S359. <https://doi.org/10.1086/691988>

- Chen, A., Kayrala, N., Trapeau, M., Aoun, M., & Bordenave, N. (2022). The clean label trend : An ineffective heuristic that disservices both consumers and the food industry? *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, n/a. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.13031>
- Chong, I.-G., & Jun, C.-H. (2005). Performance of some variable selection methods when multicollinearity is present. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 78(1), 103-112. <https://doi.org/10.1016/j.chemolab.2004.12.011>
- Chooi, Y. C., Ding, C., & Magkos, F. (2019). The epidemiology of obesity. *Metabolism - Clinical and Experimental*, 92, 6-10. <https://doi.org/10.1016/j.metabol.2018.09.005>
- Christoforou, A., Dachner, N., Mendelson, R., & Tarasuk, V. (2018). Front-of-package nutrition references are positively associated with food processing. *Public Health Nutrition*, 21(1), 58-67. <https://doi.org/10.1017/S1368980017001057>
- Cifelli, C., Fulgoni, V., Stylianou, K., & Jolliet, O. (2022). Dietary Guidelines for Americans Dietary Patterns Are Associated with Significant Improvements in Healthy Life As Assessed by the Health Nutritional Index (HENI). *Current Developments in Nutrition*, 6(Supplement\_1), 895. <https://doi.org/10.1093/cdn/nzac067.015>
- Colín-Chávez, C., Virgen-Ortiz, J. J., Serrano-Rubio, L. E., Martínez-Téllez, M. A., & Astier, M. (2020). Comparison of nutritional properties and bioactive compounds between industrial and artisan fresh tortillas from maize landraces. *Current Research in Food Science*, 3, 189-194. <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2020.05.004>
- Combet, E., Jarlot, A., Aidoo, K. E., & Lean, M. E. (2014). Development of a nutritionally balanced pizza as a functional meal designed to meet published dietary guidelines. *Public Health Nutrition*, 17(11), 2577-2586. <https://doi.org/10.1017/S1368980013002814>



- Cooper, S. L., Pelly, F. E., & Lowe, J. B. (2016). Construct and criterion-related validation of nutrient profiling models : A systematic review of the literature. *Appetite, 100*, 26-40. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2016.02.001>
- Cortesi, A., Colpaert, M., Saint-Eve, A., Maurice, B., Yannou-Le Bris, G., Souchon, I., & Pénicaud, C. (2022). How do consumer practices contribute to the environmental impacts of a food product? A case study on pizza. *Sustainable Production and Consumption (submitted)*.
- Costa, A. I. de A., Schoolmeester, D., Dekker, M., & Jongen, W. M. F. (2007). To cook or not to cook : A means-end study of motives for choice of meal solutions. *Food Quality and Preference, 18*(1), 77-88. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2005.08.003>
- Costa de Miranda, R., Rauber, F., & Levy, R. B. (2021). Impact of ultra-processed food consumption on metabolic health. *Current Opinion in Lipidology, 32*(1), 24-37. <https://doi.org/10.1097/MOL.0000000000000728>
- Cowburn, G., & Stockley, L. (2005). Consumer understanding and use of nutrition labelling : A systematic review. *Public Health Nutrition, 8*(1), 21-28. <https://doi.org/10.1079/PHN2005666>
- Cranage, D. A., Conklin, M. T., & Lambert, C. U. (2004). Effect of Nutrition Information in Perceptions of Food Quality, Consumption Behavior and Purchase Intentions. *Journal of Foodservice Business Research, 7*(1), 43-61. [https://doi.org/10.1300/J369v07n01\\_04](https://doi.org/10.1300/J369v07n01_04)
- Craveur, L., & Nov, S. (2020). *Les pains du monde* (p. 35). IFOP.
- Crimarco, A., Landry, M. J., & Gardner, C. D. (2022). Ultra-processed Foods, Weight Gain, and Co-morbidity Risk. *Current Obesity Reports, 11*(3), 80-92. <https://doi.org/10.1007/s13679-021-00460-y>

- Crino, M., Barakat, T., Trevena, H., & Neal, B. (2017). Systematic Review and Comparison of Classification Frameworks Describing the Degree of Food Processing. *Nutrition and Food Technology*, 3(1), 1-12. <https://doi.org/10.16966/2470-6086.138>
- Crouzet, M. (2020). *Rapport d'information sur les conclusions de la commission d'enquête sur l'alimentation industrielle : Qualité nutritionnelle, rôle dans l'émergence de pathologies chroniques, impact social et environnemental de sa provenance* (p. 42).
- Cullen, P. J., Valdramidis, V. P., Tiwari, B. K., Patil, S., Bourke, P., & O'Donnell, C. P. (2010). Ozone Processing for Food Preservation: An Overview on Fruit Juice Treatments. *Ozone: Science & Engineering*, 32(3), 166-179. <https://doi.org/10.1080/01919511003785361>
- Dal-Pastro, F., Facco, P., Bezzo, F., Zamproga, E., & Barolo, M. (2016). Data-driven modeling of milling and sieving operations in a wheat milling process. *Food and Bioproducts Processing*, 99, 99-108. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2016.04.007>
- Dantec, M., Allain, H., Yvert, N., Sigrist, J., Bensafi, M., & Lafraire, J. (2022). Olfactory attributes and colors associated with naturalness. *Food Quality and Preference*, 98, 104495. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2021.104495>
- Das, J. K., Salam, R. A., Mahmood, S. B., Moin, A., Kumar, R., Mukhtar, K., Lassi, Z. S., & Bhutta, Z. A. (2019). Food fortification with multiple micronutrients : Impact on health outcomes in general population. *The Cochrane Database of Systematic Reviews*, 2019(12), CD011400. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD011400.pub2>
- Davidou, S., Christodoulou, A., Fardet, A., & Frank, K. (2020). The holistico-reductionist Siga classification according to the degree of food processing : An evaluation of ultra-processed foods in French supermarkets. *Food & Function*, 11(3), 2026-2039. <https://doi.org/10.1039/C9FO02271F>

- Davidou, S., Christodoulou, A., Frank, K., & Fardet, A. (2021). A study of ultra-processing marker profiles in 22,028 packaged ultra-processed foods using the Siga classification. *Journal of Food Composition and Analysis*, 99, 103848. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2021.103848>
- Day, L., Augustin, M. A., Batey, I. L., & Wrigley, C. W. (2006). Wheat-gluten uses and industry needs. *Trends in Food Science & Technology*, 17(2), 82-90. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2005.10.003>
- De Bauw, M., Matthys, C., Poppe, V., Franssens, S., & Vrancken, L. (2021). A combined Nutri-Score and 'Eco-Score' approach for more nutritious and more environmentally friendly food choices? Evidence from a consumer experiment in Belgium. *Food Quality and Preference*, 93, 104276. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2021.104276>
- Debras, C., Srour, B., Chazelas, E., Julia, C., Kesse-Guyot, E., Allès, B., Fezeu, L. K., Galan, P., Hercberg, S., Deschasaux-Tanguy, M., & Touvier, M. (2022). Aliments ultra-transformés, maladies chroniques, et mortalité : Résultats de la cohorte prospective NutriNet-Santé. *Cahiers de Nutrition et de Diététique*, 57(3), 222-234. <https://doi.org/10.1016/j.cnd.2021.08.004>
- Delmas, G., Silva, N. J. da, Pihier, N., Weill, F.-X., Vaillant, V., & Valk, H. C. de. (2010). Les toxi-infections alimentaires collectives en France entre 2006 et 2008. *Bulletin Epidémiologique Hebdomadaire - BEH*, 31-32, 344.
- Deschasaux-Tanguy, M., Druésne-Pecollo, N., Esseddik, Y., de Edelenyi, F. S., Allès, B., Andreeva, V. A., Baudry, J., Charreire, H., Deschamps, V., Egnell, M., Fezeu, L. K., Galan, P., Julia, C., Kesse-Guyot, E., Latino-Martel, P., Oppert, J.-M., Péneau, S., Verdot, C., Hercberg, S., & Touvier, M. (2021). Diet and physical activity during the coronavirus disease 2019 (COVID-19) lockdown (March–May 2020) : Results from the

- French NutriNet-Santé cohort study. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 113(4), 924-938. <https://doi.org/10.1093/ajcn/nqaa336>
- Devia, G., Forli, S., Vidal, L., Curutchet, M. R., & Ares, G. (2021). References to home-made and natural foods on the labels of ultra-processed products increase healthfulness perception and purchase intention: Insights for policy making. *Food Quality and Preference*, 88, 104110. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2020.104110>
- Dewettinck, K., Van Bockstaele, F., Kühne, B., Van de Walle, D., Courtens, T. M., & Gellynck, X. (2008). Nutritional value of bread: Influence of processing, food interaction and consumer perception. *Journal of Cereal Science*, 48(2), 243-257. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2008.01.003>
- DGCCRF. (2012). *Etat des lieux de la réglementation encadrant l'information du consommateur* (p. 45). [https://www.economie.gouv.fr/files/files/directions\\_services/cnc/avis/2013/etat-lieux-dematerialisation.pdf](https://www.economie.gouv.fr/files/files/directions_services/cnc/avis/2013/etat-lieux-dematerialisation.pdf)
- Dhaka, V., Gulia, N., Ahlawat, K. S., & Khatkar, B. S. (2011). Trans fats—Sources, health risks and alternative approach—A review. *Journal of Food Science and Technology*, 48(5), 534-541. <https://doi.org/10.1007/s13197-010-0225-8>
- Dhuique-Mayer, C., Servent, A., Messan, C., Achir, N., Dornier, M., & Mendoza, Y. (2018). Bioaccessibility of Biofortified Sweet Potato Carotenoids in Baby Food: Impact of Manufacturing Process. *Frontiers in Nutrition*, 5. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fnut.2018.00098>
- Di Monaco, R., Di Marzo, S., Cavella, S., & Masi, P. (2005). Valorization of traditional foods: The case of Provolone del Monaco cheese. *British Food Journal*, 107(2), 98-110. <https://doi.org/10.1108/00070700510579171>

- Di Vita, G., Pappalardo, G., & Mario, D. (2016). *Exploring the determinants of consumption for an Italian traditional product : The case of pizza*. *17*, 216-221.
- Dicken, S. J., & Batterham, R. L. (2022). The Role of Diet Quality in Mediating the Association between Ultra-Processed Food Intake, Obesity and Health-Related Outcomes : A Review of Prospective Cohort Studies. *Nutrients*, *14*(1), Article 1. <https://doi.org/10.3390/nu14010023>
- Dolas, R., Saravanan, C., & Kaur, B. P. (2019). Emergence and era of ultrasonic's in fruit juice preservation : A review. *Ultrasonics Sonochemistry*, *58*, 104609. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2019.05.026>
- Dréano-Trécant, L., Egnell, M., Hercberg, S., Galan, P., Soudon, J., Fialon, M., Touvier, M., Kesse-Guyot, E., & Julia, C. (2020). Performance of the Front-of-Pack Nutrition Label Nutri-Score to Discriminate the Nutritional Quality of Foods Products : A Comparative Study across 8 European Countries. *Nutrients*, *12*(5), Article 5. <https://doi.org/10.3390/nu12051303>
- Drewnowski, A., Amanquah, D., & Gavin-Smith, B. (2021). Perspective : How to Develop Nutrient Profiling Models Intended for Global Use: A Manual. *Advances in Nutrition*, *12*(3), 609-620. <https://doi.org/10.1093/advances/nmab018>
- Duan, M.-J., Vinke, P. C., Navis, G., Corpeleijn, E., & Dekker, L. H. (2022). Ultra-processed food and incident type 2 diabetes : Studying the underlying consumption patterns to unravel the health effects of this heterogeneous food category in the prospective Lifelines cohort. *BMC Medicine*, *20*, 7. <https://doi.org/10.1186/s12916-021-02200-4>
- Dunne, J., Mercuri, A. M., Evershed, R. P., Bruni, S., & di Lernia, S. (2016). Earliest direct evidence of plant processing in prehistoric Saharan pottery. *Nature Plants*, *3*, 16194. <https://doi.org/10.1038/nplants.2016.194>

- EFSA. (2015). Scientific Opinion on acrylamide in food. *EFSA Journal*, *13*(6), 4104. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2015.4104>
- Egnell, M., Talati, Z., Galan, P., Andreeva, V. A., Vandevijvere, S., Gombaud, M., Dréano-Trécant, L., Hercberg, S., Pettigrew, S., & Julia, C. (2020). Objective understanding of the Nutri-score front-of-pack label by European consumers and its effect on food choices : An online experimental study. *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*, *17*(1), 146. <https://doi.org/10.1186/s12966-020-01053-z>
- Egnell, M., Talati, Z., Hercberg, S., Pettigrew, S., & Julia, C. (2018). Objective Understanding of Front-of-Package Nutrition Labels : An International Comparative Experimental Study across 12 Countries. *Nutrients*, *10*(10), 1542. PubMed. <https://doi.org/10.3390/nu10101542>
- Eicher-Miller, H. A., Fulgoni, V. L., III, & Keast, D. R. (2012). Contributions of Processed Foods to Dietary Intake in the US from 2003–2008 : A Report of the Food and Nutrition Science Solutions Joint Task Force of the Academy of Nutrition and Dietetics, American Society for Nutrition, Institute of Food Technologists, and International Food Information Council. *The Journal of Nutrition*, *142*(11), 2065S-2072S. <https://doi.org/10.3945/jn.112.164442>
- Eicher-Miller, H. A., Fulgoni, V. L., & Keast, D. R. (2015). Processed Food Contributions to Energy and Nutrient Intake Differ among US Children by Race/Ethnicity. *Nutrients*, *7*(12), Article 12. <https://doi.org/10.3390/nu7125503>
- Etale, A., & Siegrist, M. (2021). Food processing and perceived naturalness : Is it more natural or just more traditional? *Food Quality and Preference*, *94*, 104323. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2021.104323>

- Etilé, F., & Plessz, M. (2018). Women's employment and the decline of home cooking : Evidence from France, 1985–2010. *Review of Economics of the Household*, 16(4), 939-970. <https://doi.org/10.1007/s11150-018-9423-3>
- Evans, G., de Challemaison, B., & Cox, D. N. (2010). Consumers' ratings of the natural and unnatural qualities of foods. *Appetite*, 54(3), 557-563. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2010.02.014>
- Eymard, S. (2003). *Mise en évidence et suivi de l'oxydation des lipides au cours de la conservation et de la transformation du chinchard (Trachurus trachurus) : Choix des procédés* [These de doctorat, Nantes]. <http://www.theses.fr/2003NANT2050>
- Fardet, A. (2018). Characterization of the Degree of Food Processing in Relation With Its Health Potential and Effects. In *Advances in Food and Nutrition Research* (Vol. 85, p. 79-129). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/bs.afnr.2018.02.002>
- Farkas, J., & Mohácsi-Farkas, C. (2011). History and future of food irradiation. *Trends in Food Science & Technology*, 22(2), 121-126. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2010.04.002>
- Favalli, S., Skov, T., & Byrne, D. V. (2013). Sensory perception and understanding of food uniqueness : From the traditional to the novel. *Food Research International*, 50(1), 176-188. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2012.10.007>
- Ferrières, M. (2006). *Histoire des peurs alimentaires : Du Moyen Age à l'aube du XXe siècle*. Seuil.
- Standard 3.2.2—Food Safety Practices and General Requirements, Australia New Zealand Food Standards Code (2014).
- Forde, C. G., & de Graaf, K. C. (2023). 12 - Sensory influences on food choice and energy intake : Recent developments and future directions. In E. Guichard & C. Salles (Éds.), *Flavor (Second Edition)* (p. 329-362). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-89903-1.00013-X>

- Forde, C. G., Mars, M., & Graaf, K. D. (2020). Ultra-Processing or Oral Processing? A Role for Energy Density and Eating Rate in Moderating Energy Intake from Processed Foods. *Current Developments in Nutrition*, 4(3), nzaa019. <https://doi.org/10.1093/cdn/nzaa019>
- Franke, N., & Schreier, M. (2010). Why Customers Value Self-Designed Products : The Importance of Process Effort and Enjoyment\*. *Journal of Product Innovation Management*, 27(7), 1020-1031. <https://doi.org/10.1111/j.1540-5885.2010.00768.x>
- Freeman, A. (2015). Transparency for Food Consumers : Nutrition Labeling and Food Oppression. *American Journal of Law & Medicine*, 41(2-3), 315-330. <https://doi.org/10.1177/0098858815591520>
- Freitas, D., Souchon, I., & Feunteun, S. L. (2022). The contribution of gastric digestion of starch to the glycaemic index of breads with different composition or structure. *Food & Function*, 13(4), 1718-1724. <https://doi.org/10.1039/D1FO03901F>
- Fromberg, A., Mariotti-Celis, M., Pedreschi, F., Fagt, S., & Granby, K. (2014). Furan and Alkylated Furans in Heat Processed Food, Including Home Cooked Products. *Czech Journal of Food Sciences*, 32, 443-448. <https://doi.org/10.17221/341/2013-CJFS>
- Galiñanes Plaza, A., Saulais, L., Blumenthal, D., & Delarue, J. (2019). Eating location as a reference point : Differences in hedonic evaluation of dishes according to consumption situation. *Food Quality and Preference*, 78, 103738. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2019.103738>
- Galoburda, R., Straumite, E., Sabovics, M., & Kruma, Z. (2020). Dynamics of Volatile Compounds in Triticale Bread with Sourdough : From Flour to Bread. *Foods*, 9(12), Article 12. <https://doi.org/10.3390/foods9121837>
- Gibney, M. J., Forde, C. G., Mullally, D., & Gibney, E. R. (2017). Ultra-processed foods in human health : A critical appraisal. *Am J Clin Nutr*, 106, 717-724.



- Ginon, E., Lohéac, Y., Martin, C., Combris, P., & Issanchou, S. (2009). Effect of fibre information on consumer willingness to pay for French baguettes. *Food Quality and Preference*, 20(5), 343-352. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2009.01.002>
- Gioia, L. C., Ganancio, J. R., & Steel, C. J. (2017). Food Additives and Processing Aids used in Breadmaking. In *Food Additives*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.70087>
- Gomez, P. (2015). How to Make Non-Natural Products Appear More Natural? Changes in Process Work Better Than Changes in Content. In Jr. Robinson Leroy (Éd.), *Marketing Dynamism & Sustainability: Things Change, Things Stay the Same...* (p. 630-640). Springer International Publishing.
- Gómez-Corona, C., Escalona-Buendía, H. B., García, M., Chollet, S., & Valentin, D. (2016). Craft vs. industrial: Habits, attitudes and motivations towards beer consumption in Mexico. *Appetite*, 96, 358-367. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2015.10.002>
- Göncüoğlu Taş, N., Kocadağlı, T., & Gökmen, V. (2022). Safety concerns of processed foods in terms of neo-formed contaminants and NOVA classification. *Current Opinion in Food Science*, 47, 100876. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2022.100876>
- González-Castell, D., González-Cossío, T., Barquera, S., & Rivera, J. A. (2007). Contribution of processed foods to the energy, macronutrient and fiber intakes of Mexican children aged 1 to 4 years. *Salud Publica de Mexico*, 49(5), 345-356. Scopus.
- Gonzalez-Estanol, K., Clicerì, D., Biasioli, F., & Stieger, M. (2022). Differences in dynamic sensory perception between reformulated hazelnut chocolate spreads decrease when spreads are consumed with breads and wafers. *Food Quality and Preference*, 98, 104532. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2022.104532>

- Granato, D., de Araújo Calado, V. M., & Jarvis, B. (2014). Observations on the use of statistical methods in Food Science and Technology. *Food Research International*, *55*, 137-149. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2013.10.024>
- Gremillion, K. J. (2011). *Ancestral Appetites : Food in Prehistory*. Cambridge University Press.
- Guéraud, F., Buisson, C., Promeyrat, A., Naud, N., Fouché, E., Bézirard, V., Dupuy, J., Plaisancié, P., Héliers-Toussaint, C., Trouilh, L., Martin, J.-L., Jeuge, S., Keuleyan, E., Petit, N., Aubry, L., Théodorou, V., Frémaux, B., Olier, M., Caderni, G., ... Pierre, F. (2023). *Reduction, removal or replacement of sodium nitrite in a model of cured and cooked meat : A joint evaluation of consequences on microbiological issues in food safety, colon ecosystem and colorectal carcinogenesis* (p. 2023.03.24.531666). bioRxiv. <https://doi.org/10.1101/2023.03.24.531666>
- Gunathilake, K. D. P. P., Ranaweera, K. K. D. S., & Rupasinghe, H. P. V. (2018). Effect of Different Cooking Methods on Polyphenols, Carotenoids and Antioxidant Activities of Selected Edible Leaves. *Antioxidants*, *7*(9), Article 9. <https://doi.org/10.3390/antiox7090117>
- Guth, S., Habermeyer, M., Baum, M., Steinberg, P., Lampen, A., & Eisenbrand, G. (2013). Thermally induced process-related contaminants : The example of acrolein and the comparison with acrylamide : Opinion of the Senate Commission on Food Safety (SKLM) of the German Research Foundation (DFG). *Molecular Nutrition & Food Research*, *57*(12), 2269-2282. <https://doi.org/10.1002/mnfr.201300418>
- Ha, C.-H., Lee, S. M., Lee, E.-K., & Kim, K.-O. (2017). Effect of flour information (origin and organic) and consumer attitude to health and natural product on bread acceptability of Korean consumers. *Journal of Sensory Studies*, *32*(5), e12281. <https://doi.org/10.1111/joss.12281>

- Hackenberg, S., Jekle, M., & Becker, T. (2018). Mechanical wheat flour modification and its effect on protein network structure and dough rheology. *Food Chemistry*, 248, 296-303. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.12.054>
- Hall, K. D., Ayuketah, A., Brychta, R., Cai, H., Cassimatis, T., Chen, K. Y., Chung, S. T., Costa, E., Courville, A., Darcey, V., Fletcher, L. A., Forde, C. G., Gharib, A. M., Guo, J., Howard, R., Joseph, P. V., McGehee, S., Ouwerkerk, R., Raising, K., ... Zhou, M. (2019). Ultra-Processed Diets Cause Excess Calorie Intake and Weight Gain: An Inpatient Randomized Controlled Trial of Ad Libitum Food Intake. *Cell Metabolism*, 30(1), 67-77.e3. <https://doi.org/10.1016/j.cmet.2019.05.008>
- Hébel, P. (2021). *Enquête tendances de consommation*. Crédoc.
- Hellemann, U., Tuorila, H., Lampi, A.-M., & Matuszewska, I. (1990). Hedonic responses and attitudes related to fats used as spreads on bread. *Food Quality and Preference*, 2(1), 29-38. [https://doi.org/10.1016/0950-3293\(90\)90028-S](https://doi.org/10.1016/0950-3293(90)90028-S)
- Hercberg, S., Castetbon, K., Czernichow, S., Malon, A., Mejean, C., Kesse, E., Touvier, M., & Galan, P. (2010). The Nutrinet-Santé Study: A web-based prospective study on the relationship between nutrition and health and determinants of dietary patterns and nutritional status. *BMC Public Health*, 10(1), 242. <https://doi.org/10.1186/1471-2458-10-242>
- Hieke, S., Kuljanic, N., Pravst, I., Miklavc, K., Kaur, A., Brown, K. A., Egan, B. M., Pfeifer, K., Gracia, A., & Rayner, M. (2016). Prevalence of Nutrition and Health-Related Claims on Pre-Packaged Foods: A Five-Country Study in Europe. *Nutrients*, 8(3), Article 3. <https://doi.org/10.3390/nu8030137>
- Hruby, A., Manson, J. E., Qi, L., Malik, V. S., Rimm, E. B., Sun, Q., Willett, W. C., & Hu, F. B. (2016). Determinants and Consequences of Obesity. *American Journal of Public Health*, 106(9), 1656-1662. <https://doi.org/10.2105/AJPH.2016.303326>

- Hu, Y., Zhang, J., Wang, S., Liu, Y., Li, L., & Gao, M. (2022). Lactic acid bacteria synergistic fermentation affects the flavor and texture of bread. *Journal of Food Science*, 87(4), 1823-1836. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.16082>
- Hughner, R. S., McDonagh, P., Prothero, A., Shultz II, C. J., & Stanton, J. (2007). Who are organic food consumers? A compilation and review of why people purchase organic food. *Journal of Consumer Behaviour*, 6(2-3), 94-110. <https://doi.org/10.1002/cb.210>
- Ikonen, I., Sotgiu, F., Aydinli, A., & Verlegh, P. W. J. (2020). Consumer effects of front-of-package nutrition labeling : An interdisciplinary meta-analysis. *Journal of the Academy of Marketing Science*, 48(3), 360-383. <https://doi.org/10.1007/s11747-019-00663-9>
- INSEE. (2022, avril 27). *Estimations de population*. <https://www.insee.fr/fr/metadonnees/source/serie/s1169>
- Iooss, B., & Lemaître, P. (2015). A review on global sensitivity analysis methods. In C. Meloni & G. Dellino (Éds.), *Uncertainty management in Simulation-Optimization of Complex Systems : Algorithms and Applications*. Springer. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00975701>
- Ireland, J. D., & Møller, A. (2010). LanguaL Food Description : A Learning Process. *European Journal of Clinical Nutrition*, 64(S3), S44-S48. <https://doi.org/10.1038/ejcn.2010.209>
- Janssen, A. M., van Vliet, T., & Vereijken, J. M. (1996). Fundamental and Empirical Rheological Behaviour of Wheat Flour Doughs and Comparison with Bread Making Performance. *Journal of Cereal Science*, 23(1), 43-54. <https://doi.org/10.1006/jcrs.1996.0004>
- Jauneau, P., Daudey, E., & Hoibian, S. (2016). *Baromètre de la perception des risques sanitaires 2015—Les risques sanitaires préoccupent moins* (323; Collection des rapports, p. 45). Crédoc.

- Jensen, S., Oestdal, H., Skibsted, L. H., Larsen, E., & Thybo, A. K. (2011). Chemical changes in wheat pan bread during storage and how it affects the sensory perception of aroma, flavour, and taste. *Journal of Cereal Science*, 53(2), 259-268. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2010.11.007>
- Jourdren, S., Masson, M., Saint-Eve, A., Panouillé, M., Blumenthal, D., Lejeune, P., Déléris, I., & Souchon, I. (2017). Effect of Bread Crumb and Crust Structure on the in Vivo Release of Volatiles and the Dynamics of Aroma Perception. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 65(16), 3330-3340. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.7b00287>
- Jourdren, S., Saint-Eve, A., Panouillé, M., Lejeune, P., Déléris, I., & Souchon, I. (2016). Respective impact of bread structure and oral processing on dynamic texture perceptions through statistical multiblock analysis. *Food Research International*, 87, 142-151. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.06.021>
- Julia, C., Baudry, J., Fialon, M., Hercberg, S., Galan, P., Srour, B., Andreeva, V. A., Touvier, M., & Kesse-Guyot, E. (2022). Respective contribution of ultra-processing and nutritional quality of foods to the overall diet quality : Results from the NutriNet-Santé study. *European Journal of Nutrition*. <https://doi.org/10.1007/s00394-022-02970-4>
- Juul, F., Vaidean, G., & Parekh, N. (2021). Ultra-processed Foods and Cardiovascular Diseases : Potential Mechanisms of Action. *Advances in Nutrition*, 12(5), 1673-1680. <https://doi.org/10.1093/advances/nmab049>
- Kapoor, R., & Metzger, L. E. (2008). Process Cheese : Scientific and Technological Aspects—A Review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 7(2), 194-214. <https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2008.00040.x>
- Kaushik, R., Kumar, N., Sihag, M. K., & Ray, A. (2015). Isolation, characterization of wheat gluten and its regeneration properties. *Journal of Food Science and Technology*, 52(9), 5930-5937. <https://doi.org/10.1007/s13197-014-1690-2>

- Kihlberg, I., Johansson, L., Langsrud, Ø., & Risvik, E. (2005). Effects of information on liking of bread. *Food Quality and Preference*, 16(1), 25-35. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2003.12.005>
- Koszucka, A., & Nowak, A. (2019). Thermal processing food-related toxicants : A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 59(22), 3579-3596. <https://doi.org/10.1080/10408398.2018.1500440>
- Koszucka, A., Nowak, A., Nowak, I., & Motyl, I. (2020). Acrylamide in human diet, its metabolism, toxicity, inactivation and the associated European Union legal regulations in food industry. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 60(10), 1677-1692. <https://doi.org/10.1080/10408398.2019.1588222>
- Kumar, N., Singh, A., Sharma, D. K., & Kishore, K. (2019). Chapter 3—Toxicity of Food Additives. In R. L. Singh & S. Mondal (Éds.), *Food Safety and Human Health* (p. 67-98). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816333-7.00003-5>
- Kummerow, F. A. (2009). The negative effects of hydrogenated trans fats and what to do about them. *Atherosclerosis*, 205(2), 458-465. <https://doi.org/10.1016/j.atherosclerosis.2009.03.009>
- Lamanthe, A. (2007). Extension des marchés et normalisation : Les systèmes agro-alimentaires dans la mondialisation. *Géographie, économie, société*, 9(3), 257-270. Cairn.info. <https://doi.org/10.3166/ges.9.257-270>
- Landis, J. R., & Koch, G. G. (1977). The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*, 33(1), 159-174.
- Lang, T. (2003). Food Industrialisation and Food Power : Implications for Food Governance. *Development Policy Review*, 21(5-6), 555-568. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8659.2003.00223.x>

- Lassoued, N. (2005). *Structure alvéolaire des produits céréaliers de cuisson en lien avec les propriétés rhéologiques et thermiques de la pâte : Effet de la composition* [ENSIA (AgroParisTech)]. <https://pastel.archives-ouvertes.fr/pastel-00003695>
- Lee, J.-G., Kim, S.-Y., Moon, J.-S., Kim, S.-H., Kang, D.-H., & Yoon, H.-J. (2016). Effects of grilling procedures on levels of polycyclic aromatic hydrocarbons in grilled meats. *Food Chemistry*, 199, 632-638. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.12.017>
- Lee, W. J., Shimizu, M., Kniffin, K. M., & Wansink, B. (2013). You taste what you see : Do organic labels bias taste perceptions? *Food Quality and Preference*, 29(1), 33-39. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2013.01.010>
- Leggio, A., Belsito, E. L., De Marco, R., Di Gioia, M. L., Liguori, A., Siciliano, C., & Spinella, M. (2012). Dry fermented sausages of Southern Italy : A comparison of free amino acids and biogenic amines between industrial and homemade products. *Journal of Food Science*, 77(4), S170-175. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2012.02650.x>
- Lepiller, O., & Yount-André, C. (2019). La politisation de l'alimentation ordinaire par le marché. *Revue des sciences sociales*, 61, Article 61. <https://doi.org/10.4000/revss.3901>
- Leroy, P., Guillemain, H., Guinet, N., Maurice, B., Perret, B., Allais, O., & Souchon, I. (2022). *Anatole (Analyse des Taux Ordonnés des ingrédients dans les recettes industrielles)*. <https://odalim.inrae.fr/fr/tools/7-anatole-v1>
- Liechti, C., Delarue, J., Souchon, I., Bosc, V., & Saint-Eve, A. (2022). "How to Select a Representative Product Set From Market Inventory?" A Multicriteria Approach as a Base for Future Reformulation of Cookies. *Frontiers in Nutrition*, 8, 749596. <https://doi.org/10.3389/fnut.2021.749596>
- Lingham, S., Hill, I., & Manning, L. (2022). Artisan Food Production : What Makes Food 'Artisan'? In L.-P. Dana, V. Ramadani, R. Palalic, & A. Salamzadeh (Éds.), *Artisan and*

- Handicraft Entrepreneurs : Past, Present, and Future* (p. 101-117). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-82303-0\\_6](https://doi.org/10.1007/978-3-030-82303-0_6)
- Lo, C.-H., Khandpur, N., Rossato, S. L., Lochhead, P., Lopes, E. W., Burke, K. E., Richter, J. M., Song, M., Korat, A. V. A., Sun, Q., Fung, T. T., Khalili, H., Chan, A. T., & Ananthkrishnan, A. N. (2022). Ultra-processed Foods and Risk of Crohn's Disease and Ulcerative Colitis : A Prospective Cohort Study. *Clinical Gastroenterology and Hepatology*, 20(6), E1323-E1337. <https://doi.org/10.1016/j.cgh.2021.08.031>
- Long, J. S., & Ervin, L. H. (2000). Using Heteroscedasticity Consistent Standard Errors in the Linear Regression Model. *The American Statistician*, 54(3), 217-224. <https://doi.org/10.2307/2685594>
- López Nieves, G., Sosa Cordobés, E., Garrido Fernández, A., Travé González, G., & García Padilla, F. M. (2019). *Habits, preferences and culinary skills of first-year students at the university of Huelva*. <https://doi.org/10.6018/eglobal.18.3.332791>
- López-Tenorio, J. A., Rodríguez-Sandoval, E., & Sepúlveda-Valencia, J. U. (2015). The Influence of Different Emulsifiers on the Physical and Textural Characteristics of Gluten-Free Cheese Bread. *Journal of Texture Studies*, 46(4), 227-239. <https://doi.org/10.1111/jtxs.12121>
- Louzada, M. L. da C., Martins, A. P. B., Canella, D. S., Baraldi, L. G., Levy, R. B., Claro, R. M., Moubarac, J.-C., Cannon, G., & Monteiro, C. A. (2015). Ultra-processed foods and the nutritional dietary profile in Brazil. *Revista de Saúde Pública*, 49(0). <https://doi.org/10.1590/S0034-8910.2015049006132>
- Lu, Y., Shirashoji, N., & Lucey, J. a. (2008). Effects of pH on the Textural Properties and Meltability of Pasteurized Process Cheese Made with Different Types of Emulsifying Salts. *Journal of Food Science*, 73(8), E363-E369. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2008.00914.x>



- Lusk, J. (2019a). Consumer beliefs about healthy foods and diets. *PLOS ONE*, *14*(10), e0223098. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0223098>
- Lusk, J. (2019b). *Consumer Perceptions of 'Natural' Foods*. <https://www.ift.org/news-and-publications/food-technology-magazine/issues/2019/july/features/consumer-perceptions-of-natural-foods>
- Machin, L., Antunez, L., Curutchet, M. R., & Ares, G. (2020). The heuristics that guide healthiness perception of ultra-processed foods: A qualitative exploration. *Public Health Nutrition*, *23*(16), 2932-2940. <https://doi.org/10.1017/S1368980020003158>
- Majou, D. (2017). Food: Challenges and complexity. *La revue de l'association française d'agronomie*, *7*(1), 51-55.
- Marette, S. (2022). Ecological and/or Nutritional Scores for Food Traffic-Lights: Results of an Online Survey Conducted on Pizza in France. *Sustainability*, *14*(1), Article 1. <https://doi.org/10.3390/su14010247>
- Martinez-Perez, C., San-Cristobal, R., Guallar-Castillon, P., Martínez-González, M. Á., Salas-Salvadó, J., Corella, D., Castañer, O., Martínez, J. A., Alonso-Gómez, Á. M., Wärnberg, J., Vioque, J., Romaguera, D., López-Miranda, J., Estruch, R., Tinahones, F. J., Lapetra, J., Serra-Majem, L., Bueno-Cavanillas, A., Tur, J. A., ... Daimiel, L. (2021). Use of Different Food Classification Systems to Assess the Association between Ultra-Processed Food Consumption and Cardiometabolic Health in an Elderly Population with Metabolic Syndrome (PREDIMED-Plus Cohort). *Nutrients*, *13*(7), Article 7. <https://doi.org/10.3390/nu13072471>
- Martini, D., Godos, J., Bonaccio, M., Vitaglione, P., & Grosso, G. (2021). Ultra-Processed Foods and Nutritional Dietary Profile: A Meta-Analysis of Nationally Representative Samples. *Nutrients*, *13*(10), Article 10. <https://doi.org/10.3390/nu13103390>

- Maruyama, S., Streletskaia, N. A., & Lim, J. (2021). Clean label : Why this ingredient but not that one? *Food Quality and Preference*, 87, 104062. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2020.104062>
- Matta, J., Carette, C., Rives Lange, C., & Czernichow, S. (2018). Épidémiologie de l'obésité en France et dans le monde. *La Presse Médicale*, 47(5), 434-438. <https://doi.org/10.1016/j.lpm.2018.03.023>
- Maurice, B., Saint-Eve, A., Pernin, A., Leroy, P., & Souchon, I. (2022). How Different Are Industrial, Artisanal and Homemade Soft Breads? *Foods*, 11(10), Article 10. <https://doi.org/10.3390/foods11101484>
- Maurice, B., Souchon, I., Pernin, A., & Saint-Eve, A. (2022). Understanding the consumers' perceptions and preferences for industrial, artisanal, and homemade soft bread and how it is influenced by nutritional and technological information [in press]. *Food Quality and Preference*.
- Mazza, E., Ferro, Y., Pujia, R., Maurotti, S., Montalcini, T., & Pujia, A. (2021). Homemade food, alcohol, and body weight : Change in eating habits in young individuals at the time of COVID-19 Lockdown. *Journal of Education and Health Promotion*, 10, 427. [https://doi.org/10.4103/jehp.jehp\\_250\\_21](https://doi.org/10.4103/jehp.jehp_250_21)
- Menegassi, B., Scagliusi, F. B., Nardocci, M., & Moubarac, J.-C. (2020). Knowledge of the NOVA food classification in a sample of Brazilian adults. *Revista Chilena De Nutricion*, 47(6), 950-959. <https://doi.org/10.4067/S0717-75182020000600950>
- Mercier-Bonin, M., Despax, B., Raynaud, P., Houdeau, E., & Thomas, M. (2016). Exposition orale et devenir dans l'intestin des nanoparticules alimentaires : Exemple de l'argent et du dioxyde de titane. *Cahiers de Nutrition et de Diététique*, 51(4), 195-203. <https://doi.org/10.1016/j.cnd.2016.03.001>

- Mertens, E., Colizzi, C., & Peñalvo, J. L. (2022). Ultra-processed food consumption in adults across Europe. *European Journal of Nutrition*, 61(3), 1521-1539. <https://doi.org/10.1007/s00394-021-02733-7>
- Michalak, J., Czarnowska-Kujawska, M., & Gujska, E. (2019). Acrylamide and Thermal-Processing Indexes in Market-Purchased Food. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(23), 4724. <https://doi.org/10.3390/ijerph16234724>
- Miglio, C., Chiavaro, E., Visconti, A., Fogliano, V., & Pellegrini, N. (2008). Effects of different cooking methods on nutritional and physicochemical characteristics of selected vegetables. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56(1), 139-147. <https://doi.org/10.1021/jf072304b>
- Ministère de l'agriculture et de l'alimentation. (2009). *Les signes officiels de la qualité et de l'origine* (p. 4).
- Ministère de l'économie, de l'industrie et du numérique, & Secrétariat d'état au commerce, à l'artisanat, à la consommation et à l'économie sociale et solidaire. (2015). *GUIDE D'UTILISATION DE LA MENTION « FAIT MAISON » EN RESTAURATION à destination des professionnels* (p. 20).
- Ministère des solidarités et de la santé. (2019). *Programme national nutrition santé 2019-2023* (p. 94).
- Ministry of Health of Brazil. (2015). *Dietary guidelines for the brazilian population*.
- Mohibbe Azam, M., Padmavathi, S., Abdul Fiyaz, R., Waris, A., Ramya, K. T., & Neeraja, C. N. (2021). Effect of different cooking methods on loss of iron and zinc micronutrients in fortified and non-fortified rice. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 28(5), 2886-2894. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2021.02.021>

- Moisio, R., Arnould, E. J., & Price, L. L. (2004). Between Mothers and Markets : Constructing family identity through homemade food. *Journal of Consumer Culture*, 4(3), 361-384. <https://doi.org/10.1177/146954050404046523>
- Mondal, A., & Datta, A. K. (2008). Bread baking – A review. *Journal of Food Engineering*, 86(4), 465-474. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.11.014>
- Monteiro, C. A. (2009). Nutrition and health. The issue is not food, nor nutrients, so much as processing. *Public Health Nutrition*, 12(5), 729-731. <https://doi.org/10.1017/S1368980009005291>
- Monteiro, C. A., Bertazzi Levy, R., Moreira Claro, R., Rugani Ribeiro de Castro, I., & Cannon, G. (2010). A new classification of foods based on the extent and purpose of their processing. *Cad. Saúde Pública, Rio de Janeiro*, 26(11), 2039-2049.
- Monteiro, C. A., Cannon, G., Levy, R. B., Moubarac, J.-C., Louzada, M. L., Rauber, F., Khandpur, N., Cediel, G., Neri, D., Martinez-Steele, E., Baraldi, L. G., & Jaime, P. C. (2019). Ultra-processed foods : What they are and how to identify them. *Public Health Nutrition*, 22(5), 936-941. <https://doi.org/10.1017/S1368980018003762>
- Monteiro, C. A., Cannon, G., Levy, R., Moubarac, J.-C., Jaime, P., Martins, A. P., Canella, D., Louzada, M., & Parra, D. (2016). NOVA. The star shines bright. *World Nutrition*, 7(1-3), Article 1-3.
- Monteiro, J. S., Nakano, E. Y., Zandonadi, R. P., Botelho, R. B. A., & Araujo, W. M. C. (2022). How Do Consumers Understand Food Processing? A Study on the Brazilian Population. *Foods*, 11(16), Article 16. <https://doi.org/10.3390/foods11162396>
- Moreira, M. J., García-Díez, J., de Almeida, J. M. M. M., & Saraiva, C. (2019). Evaluation of food labelling usefulness for consumers. *International Journal of Consumer Studies*, 43(4), 327-334. <https://doi.org/10.1111/ijcs.12511>

- Morgen, C. S., & Sorensen, T. I. A. (2014). Obesity: Global trends in the prevalence of overweight and obesity. *Nature Reviews. Endocrinology*, *10*(9), 513-514. <https://doi.org/10.1038/nrendo.2014.124>
- Moriarty, S., Temelli, F., & Vasanthan, T. (2010). Effect of Health Information on Consumer Acceptability of Bread Fortified with  $\beta$ -Glucan and Effect of Fortification on Bread Quality. *Cereal Chemistry*, *87*(5), 428-433. <https://doi.org/10.1094/CCHEM-11-09-0146>
- Moubarac, J.-C., Martins, A. P. B., Claro, R. M., Levy, R. B., Cannon, G., & Monteiro, C. A. (2013). Consumption of ultra-processed foods and likely impact on human health. Evidence from Canada. *Public Health Nutrition*, *16*(12), 2240-2248. <https://doi.org/10.1017/S1368980012005009>
- Mukhopadhyay, S., Ukuku, D. O., Juneja, V. K., Nayak, B., & Olanya, M. (2017). Principles of Food Preservation. In V. K. Juneja, H. P. Dwivedi, & J. N. Sofos (Éds.), *Microbial Control and Food Preservation: Theory and Practice* (p. 17-39). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-1-4939-7556-3\\_2](https://doi.org/10.1007/978-1-4939-7556-3_2)
- Nacef, M., Lelièvre-Desmas, M., Drider, D., Flahaut, C., & Chollet, S. (2019). Artisanal and industrial Maroilles cheeses: Are they different? Comparison using sensory, physico-chemical and microbiological approaches. *International Dairy Journal*, *89*, 42-52. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2018.09.002>
- Naimi, S., Viennois, E., Gewirtz, A. T., & Chassaing, B. (2021). Direct impact of commonly used dietary emulsifiers on human gut microbiota. *Microbiome*, *9*(1). <https://doi.org/10.1186/s40168-020-00996-6>
- Nerín, C., Aznar, M., & Carrizo, D. (2016). Food contamination during food process. *Trends in Food Science & Technology*, *48*, 63-68. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2015.12.004>

- Nguyen, H. (2018). *Sustainable food systems—Concept and framework* (p. 8). FAO. <https://www.fao.org/3/ca2079en/CA2079EN.pdf>
- Nicolas, F., & Hy, M. (2000). Apprentissage technologique et innovation en agro-alimentaire. *Économie rurale*, 257(1), 27-41. <https://doi.org/10.3406/ecoru.2000.5179>
- Nielsen, K. E. (2016). 2—Health beneficial consumer products—Status and trends. In S. Osborn & W. Morley (Éds.), *Developing Food Products for Consumers with Specific Dietary Needs* (p. 15-42). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100329-9.00002-5>
- Nobrega, L., Ares, G., & Deliza, R. (2020). Are nutritional warnings more efficient than claims in shaping consumers' healthfulness perception? *Food Quality and Preference*, 79, 103749. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2019.103749>
- Nor Qhairul Izzreen, M. N., Hansen, Å. S., & Petersen, M. A. (2016). Volatile compounds in whole meal bread crust : The effects of yeast level and fermentation temperature. *Food Chemistry*, 210, 566-576. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.04.110>
- Onishi, M., Inoue, M., Araki, T., Iwabuchi, H., & Sagara, Y. (2011). Characteristic Coloring Curve for White Bread during Baking. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*, 75(2), 255-260. <https://doi.org/10.1271/bbb.100558>
- Otegbayo, B. O., Adebisi, O. M., Bolaji, O. A., & Olunlade, B. A. (2018). Effect of soy enrichment on bread quality. *International Food Research Journal*, 25(3), 1120-1125.
- Ousaaïd, D., Laaroussi, H., Mechchate, H., Bakour, M., El Ghouizi, A., Mothana, R. A., Noman, O., Es-safi, I., Lyoussi, B., & El Arabi, I. (2022). The Nutritional and Antioxidant Potential of Artisanal and Industrial Apple Vinegars and Their Ability to Inhibit Key Enzymes Related to Type 2 Diabetes In Vitro. *Molecules*, 27(2), 567. <https://doi.org/10.3390/molecules27020567>

- Pagliai, G., Dinu, M., Madarena, M. P., Bonaccio, M., Iacoviello, L., & Sofi, F. (2021). Consumption of ultra-processed foods and health status : A systematic review and meta-analysis. *The British Journal of Nutrition*, 125(3), 308-318. <https://doi.org/10.1017/S0007114520002688>
- Palmioli, A., Alberici, D., Ciaramelli, C., & Airoidi, C. (2020). Metabolomic profiling of beers : Combining 1H NMR spectroscopy and chemometric approaches to discriminate craft and industrial products. *Food Chemistry*, 327, 127025. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127025>
- Papies, E., Stroebe, W., & Aarts, H. (2007). Pleasure in the mind : Restrained eating and spontaneous hedonic thoughts about food. *Journal of Experimental Social Psychology*, 43(5), 810-817. <https://doi.org/10.1016/j.jesp.2006.08.001>
- Parada, J., & Aguilera, J. m. (2007). Food Microstructure Affects the Bioavailability of Several Nutrients. *Journal of Food Science*, 72(2), R21-R32. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2007.00274.x>
- Payet, M. (2015). La sécurité alimentaire française est-elle au top ? *Les Tribunes de la santé*, 49(4), 69-73. <https://doi.org/10.3917/seve.049.0069>
- Petisca, C., Henriques, A. R., Pérez-Palacios, T., Pinho, O., & Ferreira, I. M. P. L. V. O. (2014). Assessment of hydroxymethylfurfural and furfural in commercial bakery products. *Journal of Food Composition and Analysis*, 33(1), 20-25. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2013.10.004>
- Petridou, E. (2001). The Taste of Home. In *Home Possessions* (Daniel Miller, p. 87-104). Routledge.
- Petrus, R. R., do Amaral Sobral, P. J., Tadini, C. C., & Gonçalves, C. B. (2021). The NOVA classification system : A critical perspective in food science. *Trends in Food Science & Technology*, 116, 603-608. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.08.010>

- Pico, J., Bernal, J., & Gómez, M. (2015). Wheat bread aroma compounds in crumb and crust : A review. *Food Research International*, 75, 200-215.  
<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2015.05.051>
- Pink, A. E., Stylianou, K. S., Ling Lee, L., Jolliet, O., & Cheon, B. K. (2022). The effects of presenting health and environmental impacts of food on consumption intentions. *Food Quality and Preference*, 98, 104501. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2021.104501>
- Pinto, V. R. A., Campos, R. F. de A., Rocha, F., Emmendoerfer, M. L., Vidigal, M. C. T. R., da Rocha, S. J. S. S., Lucia, S. M. D., Cabral, L. F. M., de Carvalho, A. F., & Perrone, Í. T. (2021). Perceived healthiness of foods : A systematic review of qualitative studies. *Future Foods*, 4, 100056. <https://doi.org/10.1016/j.fufo.2021.100056>
- Polak, R., Tirosh, A., Livingston, B., Pober, D., Eubanks, J. E., Silver, J. K., Minezaki, K., Loten, R., & Phillips, E. M. (2018). Preventing Type 2 Diabetes with Home Cooking : Current Evidence and Future Potential. *Current Diabetes Reports*, 18(10), 99. <https://doi.org/10.1007/s11892-018-1061-x>
- Poti, J. M., Braga, B., & Qin, B. (2017). Ultra-processed Food Intake and Obesity : What Really Matters for Health-Processing or Nutrient Content? *Current Obesity Reports*, 6(4), 420-431. <https://doi.org/10.1007/s13679-017-0285-4>
- Poti, J. M., Mendez, M. A., Ng, S. W., & Popkin, B. M. (2015). Is the degree of food processing and convenience linked with the nutritional quality of foods purchased by US households? *The American Journal of Clinical Nutrition*, 101(6), 1251-1262. <https://doi.org/10.3945/ajcn.114.100925>
- Potter, N. N., & Hotchkiss, J. H. (1995). Unit Operations in Food Processing. In N. N. Potter & J. H. Hotchkiss (Éds.), *Food Science : Fifth Edition* (p. 69-89). Springer US. [https://doi.org/10.1007/978-1-4615-4985-7\\_5](https://doi.org/10.1007/978-1-4615-4985-7_5)



- Prost, C., Poinot, P., Rannou, C., & Arvisenet, G. (2012). Bread aroma. In S. P. Cauvain (Éd.), *Breadmaking (Second Edition)* (p. 523-561). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1533/9780857095695.3.523>
- Przybylski, R., & Aladedunye, F. A. (2012). Formation of Trans Fats: During Food Preparation. *Canadian Journal of Dietetic Practice and Research*, 73(2), 98-101. <https://doi.org/10.3148/73.2.2012.98>
- Pu, D., Duan, W., Huang, Y., Zhang, Y., Sun, B., Ren, F., Zhang, H., Chen, H., He, J., & Tang, Y. (2020). Characterization of the key odorants contributing to retronasal olfaction during bread consumption. *Food Chemistry*, 318, 126520. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126520>
- QualiQuanti. (2021). *Le pain et les Français : 5 ans après*.
- Rappel Conso. (2022a, mars). *Rappel Consommateur—Détail Pizza Fraich'Up Buitoni*. <https://rappel.conso.gouv.fr/fiche-rappel/6536/Interne>
- Rappel Conso. (2022b, avril). *Rappel Consommateur—Détail Assortiments de différents produits Kinder KINDER*. <https://rappel.conso.gouv.fr/fiche-rappel/6863/Interne>
- Rappel Conso. (2022c, juillet). *Rappel Consommateur—Détail Crèmes glacées Vanille Häagen-Dazs*. <https://rappel.conso.gouv.fr/fiche-rappel/7582/Interne>
- Ravi, R., Roopa, B. s., & Bhattacharya, S. (2007). Texture Evaluation by Uniaxial Compression of Some Snack Foods. *Journal of Texture Studies*, 38(1), 135-152. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4603.2007.00090.x>
- Recio-Román, A., Recio-Menéndez, M., & Román-González, M. V. (2020). Food Reward and Food Choice. An Inquiry Through The Liking and Wanting Model. *Nutrients*, 12(3), Article 3. <https://doi.org/10.3390/nu12030639>

- Rekhy, R., & McConchie, R. (2014). Promoting consumption of fruit and vegetables for better health. Have campaigns delivered on the goals? *Appetite*, 79, 113-123. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2014.04.012>
- Renard, C. M. G. C. (2022). Transformation des aliments : Comment se sont développés procédés et produits. *Cahiers de Nutrition et de Diététique*, 57(3), 169-181. <https://doi.org/10.1016/j.cnd.2021.12.002>
- Revilla, M. A., Saris, W. E., & Krosnick, J. A. (2014). Choosing the Number of Categories in Agree–Disagree Scales. *Sociological Methods & Research*, 43(1), 73-97. <https://doi.org/10.1177/0049124113509605>
- Rivaroli, S., Baldi, B., & Spadoni, R. (2020). Consumers' perception of food product craftsmanship : A review of evidence. *Food Quality and Preference*, 79, 103796. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2019.103796>
- Rivaroli, S., Lindenmeier, J., Hingley, M., & Spadoni, R. (2021). Social representations of craft food products in three European countries. *Food Quality and Preference*, 93, 104253. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2021.104253>
- Román, S., Sánchez-Siles, L. M., & Siegrist, M. (2017). The importance of food naturalness for consumers : Results of a systematic review. *Trends in Food Science & Technology*, 67, 44-57. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.06.010>
- Roos, Y. H., Fryer, P. J., Knorr, D., Schuchmann, H. P., Schroën, K., Schutyser, M. A. I., Trystram, G., & Windhab, E. J. (2016). Food Engineering at Multiple Scales : Case Studies, Challenges and the Future—A European Perspective. *Food Engineering Reviews*, 8(2), 91-115. <https://doi.org/10.1007/s12393-015-9125-z>
- Rosell, C. M. (2012). 27—Nutritionally enhanced wheat flours and breads. In S. P. Cauvain (Éd.), *Breadmaking (Second Edition)* (p. 687-710). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1533/9780857095695.4.687>

- Rosset, P., Beaufort, A., Simon-Cornu, M., & Poumeyrol, G. (2002). *La chaîne du froid en agroalimentaire*.
- Rozin, P. (2005). The Meaning of “Natural”: Process More Important Than Content. *Psychological Science*, *16*(8), 652-658. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9280.2005.01589.x>
- Rozin, P., Spranca, M., Krieger, Z., Neuhaus, R., Surillo, D., Swerdlin, A., & Wood, K. (2004). Preference for natural : Instrumental and ideational/moral motivations, and the contrast between foods and medicines. *Appetite*, *43*(2), 147-154. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2004.03.005>
- Sadler, C. R., Grassby, T., Hart, K., Raats, M., Sokolović, M., & Timotijevic, L. (2021). Processed food classification: Conceptualisation and challenges. *Trends in Food Science & Technology*, *112*, 149-162. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.02.059>
- Sanchez-Siles, L. M., Michel, F., Román, S., Bernal, M. J., Philipsen, B., Haro, J. F., Bodenstab, S., & Siegrist, M. (2019). The Food Naturalness Index (FNI) : An integrative tool to measure the degree of food naturalness. *Trends in Food Science & Technology*, *91*, 681-690. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.07.015>
- Sandvik, P., Nydahl, M., Kihlberg, I., & Marklinder, I. (2018). Consumers’ health-related perceptions of bread – Implications for labeling and health communication. *Appetite*, *121*, 285-293. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2017.11.092>
- Santé Publique France. (2020, juin 16). *Conditions of Use of the « Nutri-Score » Logo*.
- Santiago-Cruz, I. A., de Jesús Ramírez-Rivera, E., López-Espíndola, M., Hidalgo-Contreras, J. V., Prinyawiwatkul, W., & Herrera-Corredor, J. A. (2021). Use of online questionnaires to identify emotions elicited by different types of corn tortilla in consumers of different gender and age groups. *Journal of Sensory Studies*, *36*(2), e12638. <https://doi.org/10.1111/joss.12638>

- Sarmiento-Santos, J., Souza, M. B. N., Araujo, L. S., Pion, J. M. V., Carvalho, R. A., & Vanin, F. M. (2022). Consumers' Understanding of Ultra-Processed Foods. *Foods*, *11*(9), Article 9. <https://doi.org/10.3390/foods11091359>
- Saulnier, L., & Micard, V. (2012). Impact de la structure de l'aliment sur les propriétés nutritionnelles et l'acceptabilité du pain et des pâtes. *Innovations Agronomiques*, *19*, 63-74.
- Schirmacher, H., Elshiewy, O., & Boztug, Y. (2022). That's not natural! Consumer response to disconfirmed expectations about 'Natural' food. *Appetite*, 106270. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2022.106270>
- Schleifer, D., & DeSoucey, M. (2015). What Your Consumer Wants. *Journal of Cultural Economy*, *8*(2), 218-234. <https://doi.org/10.1080/17530350.2013.861356>
- Schnabel, L., Buscail, C., Sabate, J.-M., Bouchoucha, M., Kesse-Guyot, E., Alles, B., Touvier, M., Monteiro, C. A., Hercberg, S., Benamouzig, R., & Julia, C. (2018). Association Between Ultra-Processed Food Consumption and Functional Gastrointestinal Disorders : Results From the French NutriNet-Sante Cohort. *The American Journal of Gastroenterology*, *113*(8), 1217-1228. <https://doi.org/10.1038/s41395-018-0137-1>
- Scientific Committee of the Nutri-Score. (2022). *Update of the Nutri-Score algorithm* (p. 135). <https://www.santepubliquefrance.fr/determinants-de-sante/nutrition-et-activite-physique/articles/nutri-score/documents/rapport-2022-sur-les-modifications-de-l-algorithme-de-calcul-pour-les-aliments-solides-proposees-par-le-comite-scientifique-du-nutri-score>
- Shapin, S. (2014). 'You are what you eat' : Historical changes in ideas about food and identity. *Historical Research*, *87*(237), 377-392. <https://doi.org/10.1111/1468-2281.12059>
- Shepherd, R. (2001). Does Taste Determine Consumption? Understanding the Psychology of Food Choice. In L. J. Frewer, E. Risvik, & H. Schifferstein (Éds.), *Food, People and*

- Society : A European Perspective of Consumers' Food Choices* (p. 117-130). Springer.  
[https://doi.org/10.1007/978-3-662-04601-2\\_8](https://doi.org/10.1007/978-3-662-04601-2_8)
- Silow, C., Axel, C., Zannini, E., & Arendt, E. K. (2016). Current status of salt reduction in bread and bakery products – A review. *Journal of Cereal Science*, 72, 135-145.  
<https://doi.org/10.1016/j.jcs.2016.10.010>
- Simoglou, A., Georgieva, P., Martin, E. B., Morris, A. J., & Feye de Azevedo, S. (2005). On-line monitoring of a sugar crystallization process. *Computers & Chemical Engineering*, 29(6), 1411-1422. <https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2005.02.013>
- Siret, F., & Issanchou, S. (2000). Traditional process : Influence on sensory properties and on consumers' expectation and liking Application to 'pâté de campagne'. *Food Quality and Preference*, 11(3), 217-228. [https://doi.org/10.1016/S0950-3293\(99\)00058-0](https://doi.org/10.1016/S0950-3293(99)00058-0)
- Slimani, N., Deharveng, G., Southgate, D. A. T., Biessy, C., Chajes, V., van Bakel, M. M. E., Boutron-Ruault, M. C., McTaggart, A., Grioni, S., Verkaik-Kloosterman, J., Huybrechts, I., Amiano, P., Jenab, M., Vignat, J., Bouckaert, K., Casagrande, C., Ferrari, P., Zourna, P., Trichopoulou, A., ... Bingham, S. (2009). Contribution of highly industrially processed foods to the nutrient intakes and patterns of middle-aged populations in the European Prospective Investigation into Cancer and Nutrition study. *European Journal of Clinical Nutrition*, 63 Suppl 4, S206-225.  
<https://doi.org/10.1038/ejcn.2009.82>
- Soler, L.-G., Réquillart, V., & Trystram, G. (2011). Organisation industrielle et durabilité. In *duALIne—Durabilité de l'alimentation face à de nouveaux enjeux* (p. 85-95).
- Sommier, B., Guillemot, S., Chédotal, C., & Tamaro, A. (2021). La qualité alimentaire. Différences de représentations entre industriels et consommateurs et implications. *Gestion 2000*, 38(6), 67-95. <https://doi.org/10.3917/g2000.386.0067>

- Sonesson, U., Mattsson, B., Nybrant, T., & Ohlsson, T. (2005). Industrial processing versus home cooking : An environmental comparison between three ways to prepare a meal. *Ambio*, 34(4-5), 414-421.
- Souchon, I., & Braesco, V. (2022). Classer les aliments selon leur niveau de transformation – Quels sont les différents systèmes et leurs limites ? *Cahiers de Nutrition et de Diététique*, 57(3), 194-209. <https://doi.org/10.1016/j.cnd.2022.03.003>
- Soutjis, B. (2020). Gouverner la qualité alimentaire par les applications. *Sociologies pratiques*, 41(2), 81-94. <https://doi.org/10.3917/sopr.041.0081>
- SPF Economie. (2022). *Guidelines—L'utilisation de la terminologie « artisanal » et ses dérivés dans l'appellation des produits* (p. 6). <https://economie.fgov.be/sites/default/files/Files/Entreprises/guidelines-produits-artisanaux.pdf>
- Srour, B., Fezeu, L. K., Kesse-Guyot, E., Allès, B., Debras, C., Druesne-Pecollo, N., Chazelas, E., Deschasaux, M., Hercberg, S., Galan, P., Monteiro, C. A., Julia, C., & Touvier, M. (2019). Ultraprocessed Food Consumption and Risk of Type 2 Diabetes Among Participants of the NutriNet-Santé Prospective Cohort. *JAMA Internal Medicine*. <https://doi.org/10.1001/jamainternmed.2019.5942>
- Srour, B., Kordahi, M. C., Bonazzi, E., Deschasaux-Tanguy, M., Touvier, M., & Chassaing, B. (2022). Ultra-processed foods and human health : From epidemiological evidence to mechanistic insights. *The Lancet Gastroenterology & Hepatology*. [https://doi.org/10.1016/S2468-1253\(22\)00169-8](https://doi.org/10.1016/S2468-1253(22)00169-8)
- Starowicz, M., & Zieliński, H. (2019). How Maillard Reaction Influences Sensorial Properties (Color, Flavor and Texture) of Food Products? *Food Reviews International*, 35(8), 707-725. <https://doi.org/10.1080/87559129.2019.1600538>

- Surai, P., & Fisinin, V. I. (2010). Ill Health Effects of Food Lipids : Consequences of Inadequate Food Processing, Storage and Cooking. In F. De Meester, S. Zibadi, & R. R. Watson (Éds.), *Modern Dietary Fat Intakes in Disease Promotion* (p. 251-274). Humana Press. [https://doi.org/10.1007/978-1-60327-571-2\\_17](https://doi.org/10.1007/978-1-60327-571-2_17)
- Sütterlin, B., & Siegrist, M. (2015). Simply adding the word “fruit” makes sugar healthier : The misleading effect of symbolic information on the perceived healthiness of food. *Appetite*, 95, 252-261. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2015.07.011>
- Symmank, C. (2019). Extrinsic and intrinsic food product attributes in consumer and sensory research : Literature review and quantification of the findings. *Management Review Quarterly*, 69(1), 39-74. <https://doi.org/10.1007/s11301-018-0146-6>
- Taborda, G., Gómez-Ruiz, J. A., Martínez-Castro, I., Amigo, L., Ramos, M., & Molina, E. (2008). Taste and flavor of artisan and industrial Manchego cheese as influenced by the water-soluble extract compounds. *European Food Research and Technology*, 227(2), 323-330. <https://doi.org/10.1007/s00217-007-0769-7>
- Taneri, P. E., Wehrli, F., Roa-Díaz, Z. M., Itodo, O. A., Salvador, D., Raeisi-Dehkordi, H., Bally, L., Minder, B., Kiefte-de Jong, J. C., Laine, J. E., Bano, A., Glisic, M., & Muka, T. (2022). Association Between Ultra-Processed Food Intake and All-Cause Mortality : A Systematic Review and Meta-Analysis. *American Journal of Epidemiology*, 191(7), 1323-1335. <https://doi.org/10.1093/aje/kwac039>
- Tavoularis, G., Recours, F., & Hébel, P. (2007). *Perception de la qualité et des signes officiels de qualité dans le secteur alimentaire* (Cahier de recherche n°C236, p. 114). Crédoc.
- Tenny, S., Brannan, G. D., Brannan, J. M., & Sharts-Hopko, N. C. (2022). Qualitative Study. In *StatPearls*. StatPearls Publishing. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK470395/>
- Teo, P. S., Lim, A. J., Goh, A. T., R, J., Choy, J. Y. M., McCrickerd, K., & Forde, C. G. (2022). Texture-based differences in eating rate influence energy intake for minimally

- processed and ultra-processed meals. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 116(1), 244-254. <https://doi.org/10.1093/ajcn/nqac068>
- Tharrey, M., Drogué, S., Privet, L., Perignon, M., Dubois, C., & Darmon, N. (2020). Industrially processed v. home-prepared dishes : What economic benefit for the consumer? *Public Health Nutrition*, 23(11), 1982-1990. <https://doi.org/10.1017/S1368980019005081>
- The Lancet. (2017). Imagine a world free from hunger and malnutrition. *The Lancet*, 390(10102), 1563. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(17\)32549-7](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(17)32549-7)
- Thielecke, F., Lecerf, J.-M., & Nugent, A. P. (2021). Processing in the food chain : Do cereals have to be processed to add value to the human diet? *Nutrition Research Reviews*, 34(2), 159-173. <https://doi.org/10.1017/S0954422420000207>
- Tomas, M., Beekwilder, J., Hall, R. D., Sagdic, O., Boyacioglu, D., & Capanoglu, E. (2017). Industrial processing versus home processing of tomato sauce : Effects on phenolics, flavonoids and in vitro bioaccessibility of antioxidants. *Food Chemistry*, 220, 51-58. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.09.201>
- Trystram, G. (2022). Rôles de la transformation dans un système alimentaire sain, favorable à la santé et durable. *Cahiers de Nutrition et de Diététique*, 57(3), 157-158. <https://doi.org/10.1016/j.cnd.2022.05.001>
- UNESCO, & Centre du commerce international. (1997). *Guide méthodologique pour la collecte des données sur l'artisanat*. <http://uis.unesco.org/fr/glossary-term/artisanat-ou-produits-de-lartisanat>
- van Boekel, M., Fogliano, V., Pellegrini, N., Stanton, C., Scholz, G., Lalljie, S., Somoza, V., Knorr, D., Jasti, P. R., & Eisenbrand, G. (2010). A review on the beneficial aspects of food processing. *Molecular Nutrition & Food Research*, 54(9), 1215-1247. <https://doi.org/10.1002/mnfr.200900608>



- van Mil, H. G. J., Foegeding, E. A., Windhab, E. J., Perrot, N., & van der Linden, E. (2014). A complex system approach to address world challenges in food and agriculture. *Trends in Food Science & Technology*, 40(1), 20-32. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2014.07.005>
- van Trijp, H. C. M., & van der Lans, I. A. (2007). Consumer perceptions of nutrition and health claims. *Appetite*, 48(3), 305-324. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2006.09.011>
- Visioli, F., Marangoni, F., Fogliano, V., Rio, D. D., Martinez, J. A., Kuhnle, G., Buttriss, J., Ribeiro, H. D. C., Bier, D., & Poli, A. (2022). The ultra-processed foods hypothesis : A product processed well beyond the basic ingredients in the package. *Nutrition Research Reviews*, 1-11. <https://doi.org/10.1017/S0954422422000117>
- Viskaal-van Dongen, M., Kok, F. J., & de Graaf, C. (2011). Eating rate of commonly consumed foods promotes food and energy intake. *Appetite*, 56(1), 25-31. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2010.11.141>
- Vita, G. D., Salvo, G. D., Bracco, S., Gulisano, G., & D'Amico, M. (2016). Future Market of Pizza : Which Attributes Do They Matter? *AGRIS On-Line Papers in Economics and Informatics*, 08(4), 59-71. <https://doi.org/10.22004/ag.econ.254026>
- Voicu, M.-C., Babonea, A.-M., & Platon, O. E. (2012). Ethnomarketing—A new paradigm that reflects marketing's concern for the cultural dimension of the market. *Challenges of the Knowledge Society*. [http://cks.univnt.ro/uploads/cks\\_2012\\_articles/index.php?dir=02\\_economics%2F&download=cks\\_2012\\_economics\\_art\\_030.pdf](http://cks.univnt.ro/uploads/cks_2012_articles/index.php?dir=02_economics%2F&download=cks_2012_economics_art_030.pdf)
- Wang, L. (2014). Energy efficiency technologies for sustainable food processing. *Energy Efficiency*, 7(5), 791-810. <https://doi.org/10.1007/s12053-014-9256-8>
- Weber, A. (2021). Mobile apps as a sustainable shopping guide : The effect of eco-score rankings on sustainable food choice. *Appetite*, 167, 105616. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2021.105616>

- Wills, J. M., Schmidt, D. B., Pillo-Blocka, F., & Cairns, G. (2009). Exploring global consumer attitudes toward nutrition information on food labels. *Nutrition Reviews*, 67(s1), S102-S106. <https://doi.org/10.1111/j.1753-4887.2009.00170.x>
- Wu, P.-H., Huang, C.-Y., & Chou, C.-K. (2014). Service expectation, perceived service quality, and customer satisfaction in food and beverage industry. *International Journal of Organizational Innovation (Online)*, 7(1), 171.
- Xi, J., Zhao, Q., Xu, D., Jin, Y., Wu, F., & Xu, X. (2021). Effect of dough kneading time on Chinese steamed bread quality and volatile compounds. *Food Bioscience*, 43, 101323. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2021.101323>
- Zammit, H. (2018). *Culinary skills and habits among students at the University of Malta*. <https://www.um.edu.mt/library/oar/handle/123456789/36080>
- Zavorotniy, R., & Bilyk, O. (2017). Transformation of sunflower oil production in Ukraine due to acute economic crisis. *Journal of International Studies*, 10(1), 225-236. <https://doi.org/10.14254/2071-8330.2017/10-1/16>
- Zhou, L., Li, H., Zhang, S., Yang, H., Ma, Y., & Wang, Y. (2022). Impact of ultra-processed food intake on the risk of COVID-19 : A prospective cohort study. *European Journal of Nutrition*. <https://doi.org/10.1007/s00394-022-02982-0>

## H. LISTE DES FIGURES SUPPLÉMENTAIRES

---

<b>FIGURE SUPPLÉMENTAIRE 1.</b> PRÉCISIONS COMPLÉMENTAIRES CONCERNANT LE DÉCRET SUR LE « FAIT MAISON » D'AVRIL 2015. ..	294
<b>SUPPLEMENTARY FIGURE 2.</b> FULL QUESTIONNAIRE COMPLETED BY THE PARTICIPANTS (N = 65). TEXT WAS TRANSLATED FROM FRENCH. ....	297
<b>SUPPLEMENTARY FIGURE 3.</b> FULL QUESTIONNAIRE COMPLETED BY THE PARTICIPANTS (N = 1,000). TEXT WAS TRANSLATED FROM FRENCH. ....	307
<b>SUPPLEMENTARY FIGURE 4.</b> QUESTIONNAIRE COMPLETED BY THE PARTICIPANTS (N = 69) FOR EACH OF THE SIX PIZZAS PREPARED. TEXT WAS TRANSLATED FROM FRENCH. ....	310
<b>SUPPLEMENTARY FIGURE 5.</b> QUESTIONNAIRE COMPLETED BY THE PARTICIPANTS (N = 69) AFTER TASTING EACH OF THE SIX PIZZAS PREPARED. TEXT WAS TRANSLATED FROM FRENCH. ....	313

## I. LISTE DES TABLEAUX SUPPLÉMENTAIRES

---

<b>SUPPLEMENTARY TABLE 1.</b> LIST OF THE UNIT OPERATIONS, GATHERED INTO CATEGORIES.....	314
<b>SUPPLEMENTARY TABLE 2.</b> DETAILED DATA RELATING TO THE PROCESS-SCORE OF SOFT BREADS: (A) EXTRACT FROM THE CATALOG OF GENERIC UNIT OPERATIONS USED FOR SOFT BREAD PRODUCTION DIAGRAMS; (B) PROCESS-SCORES OF THE MAIN SOFT BREAD INGREDIENTS. ....	317
<b>SUPPLEMENTARY TABLE 3.</b> SELECTED IONS CORRESPONDING TO THE CHROMATOGRAPHIC PEAKS OF THE VOLATILE COMPOUNDS TREATED BY EXTRACTED ION CHROMATOGRAM.....	319

## J. FIGURES SUPPLÉMENTAIRES

---

« Pour demeurer « brut », le produit alimentaire concerné doit avoir été acheté cru, il ne doit pas avoir été modifié dans sa nature même et en particulier par un mélange avec un autre produit (pas d'assemblage par exemple) ou par un chauffage préalable (en particulier cuisson, pré-cuisson...). Un produit brut doit conserver l'essentiel de sa qualité gustative originelle ». De plus « l'ajout d'un additif n'est donc en principe pas possible. Il fait cependant l'objet d'une tolérance lorsqu'il s'agit de produits « naturels » (tels que le sel par exemple) ou en vue de favoriser la conservation du produit brut si ce procédé est nécessaire en amont de l'approvisionnement dans les établissements (c'est le cas pour le thon par exemple). Cette tolérance est valable dans la mesure où elle ne contribue pas à modifier le produit lui-même (son goût, sa texture, ses qualités organoleptiques) ». Ainsi les fruits et légumes doivent être achetés frais. Finalement, une liste d'exceptions (la plus complète possible mais non exhaustive) est donnée pour les produits non bruts pouvant être intégrés dans la composition d'un plat « fait maison » :

- les salaisons, saurisseries et charcuteries, à l'exception des terrines et des pâtés
- les fromages, les matières grasses alimentaires, la crème fraîche, et le lait
- le pain, les farines et les biscuits secs
- les légumes et fruits secs et confits
- les pâtes et les céréales
- la choucroute crue
- les œufs séparés
- la levure, le sucre et la gélatine
- les condiments, épices, aromates, les concentrés, le chocolat, le café, les tisanes, thés et infusions
- les sirops, vins, alcools et liqueurs
- les abats blanchis
- les fonds blancs, bruns et fumets, ainsi que la demi-glace (réduction des fonds de sauce)

**Figure supplémentaire 1.** Précisions complémentaires concernant le décret sur le « fait maison » d'Avril 2015.

Thank you very much for your participation. Please answer the following questions **after tasting the soft bread presented to you**:

Q1. How did you find the soft bread you just ate?

- Extremely bad
- Very bad
- Bad
- Neither good nor bad
- Good
- Very good
- Extremely good

Q2. According to you, the soft bread you just ate is...

*Please rate your agreement with the following statements to best describe the soft bread you just ate.*

	<b>Strongly disagree</b>	<b>Disagree</b>	<b>Neither agree nor disagree</b>	<b>Agree</b>	<b>Strongly agree</b>
Very soft					
Very fatty					
Very salty					
Very sweet					
Very dense					
Very dry					

Q3. According to you, the soft bread you just ate...

*Please rate your agreement with the following statements to best describe the soft bread you just ate.*

	<b>Strongly disagree</b>	<b>Disagree</b>	<b>Neither agree nor disagree</b>	<b>Agree</b>	<b>Strongly agree</b>
Only contains natural ingredients					
Is satiating					
Contains artificial ingredients					
Is of poor nutritional quality					
Is of good nutritional quality					
Is organically grown					
Contains additives					
Is labelled 'no colorant', 'no additives', or 'no preservatives'					
Is a traditional product					
Can only be kept for 2 days					
Has a higher price than the average soft bread bought in supermarkets					
Is a product made in France					
Is a natural product					
Can be kept for at least 2 weeks (long shelf life)					
Is locally produced					

Q4. In your opinion, how many additives does this bread contain?

..... additive(s)

Q5\_day-one. According to you, this soft bread is...

Industrial / bought in supermarket	Homemade	Artisanal / bought in bakery	I do not know

Q5\_day-two. Please rate your agreement with the following statements:

	Strongly disagree	Disagree	Neither agree nor disagree	Agree	Strongly agree
Information on <b>composition</b> is useful in evaluating the qualities of soft bread.					
Information on <b>processing</b> is useful in evaluating the qualities of soft bread.					
Information on <b>composition</b> is more important than <b>processing</b> information in assessing the qualities of sandwich bread.					

Q6. In your opinion, the processing level of this soft bread is...



**Supplementary Figure 2.** Full questionnaire completed by the participants (n = 65). Text was translated from French.

---



The food we eat undergoes various transformations during its preparation (cutting, cooking, mixing, blending of different ingredients, etc.).

These transformations can take place on an industrial or artisanal scale, or at home.

The aim of this questionnaire is to gain a better understanding of your eating habits and your opinion of various processed foods, particularly pizzas.

We ask you to answer the questions with your personal opinion.

Thank you for your participation!

**I – General questions about processed foods**

You buy or consume food products from different places (supermarkets, caterers, homes, restaurants...).

We are going to ask you some questions to understand what is important to you when you buy or consume these food products.

Please rate your agreement with the following descriptions:

Q1.A. When I buy a food product in a **supermarket**, which has been manufactured by an **industrial**, I pay particular attention to:

	Strongly disagree	Disagree	Neither agree nor disagree	Agree	Strongly agree
The local origin of the ingredients used					
The local manufacture of the product					
Absence or limited use of additives					
"colorant free", "additive free" or "no preservatives" claims					
Zero pesticide residues					
Absence of hormones and genetically modified organisms					
The product's overall nutritional balance					
The presence of quality labels (e.g., Red Label, Protected Geographical Indication, Controlled Designation of Origin...)					
The presence of an "organic" label (organic farming...)					
A list of ingredients I know and have in my kitchen					
A simple recipe (containing few different ingredients)					
No over-packaging (single packaging)					
The convenience of the product					
To save preparation time					

A long shelf life for the product					
Product safety (no bacterial or chemical contamination, etc.)					
Natural product appearance					
Low environmental impact					
Taste quality					
Fair trade / Fairtrade label					
Economical price					

Q1.B. When I prepare a food product **at home (in my kitchen)**, I pay particular attention to:

	<b>Strongly disagree</b>	<b>Disagree</b>	<b>Neither agree nor disagree</b>	<b>Agree</b>	<b>Strongly agree</b>
The local origin of the ingredients used					
"colorant free", "additive free" or "no preservatives" claims					
Zero pesticide residues					
Absence of hormones and genetically modified organisms					
The product's overall nutritional balance					
The presence of quality labels on the recipe's ingredients (e.g., Red Label, Protected Geographical Indication, Controlled Designation of Origin...)					
The presence of an "organic" label (organic farming...)					
A simple recipe (containing few different ingredients)					
The convenience of the products					
To save preparation time					
A long shelf life for the product					
Product safety (no bacterial or chemical contamination, etc.)					
Natural appearance of the ingredients					
Low environmental impact					
Taste quality					
Fair trade / Fairtrade label					
Economical price					

Q1.C. When I buy a food product from an **artisan** or a **small merchant** (caterer, local shop, butcher, baker...), I pay particular attention to:

	<b>Strongly disagree</b>	<b>Disagree</b>	<b>Neither agree nor disagree</b>	<b>Agree</b>	<b>Strongly agree</b>
The local origin of the ingredients used					
Absence or limited use of additives					
The product's overall nutritional balance					
The presence of quality labels (e.g., Red Label, Protected Geographical Indication, Controlled Designation of Origin...)					
The presence of an "organic" label (organic farming...)					
A simple recipe (containing few different ingredients)					
No over-packaging (single packaging)					
The convenience of the product					
To save preparation time					
Product safety (no bacterial or chemical contamination, etc.)					
Natural product appearance					
Low environmental impact					
Taste quality					
Fair trade / Fairtrade label					
Economical price					

Q1.D. When I consume a food from a **restaurant** (including mass catering), I pay particular attention to:

	<b>Strongly disagree</b>	<b>Disagree</b>	<b>Neither agree nor disagree</b>	<b>Agree</b>	<b>Strongly agree</b>
The local origin of the ingredients used					
The product's overall nutritional balance					
The presence of quality labels (e.g., Red Label, Protected Geographical Indication, Controlled Designation of Origin...)					
The presence of an "organic" label (organic farming...)					
A simple recipe (containing few different ingredients)					
To save preparation time					
Product safety (no bacterial or chemical contamination, etc.)					
Natural product appearance					
Low environmental impact					
Taste quality					
Economical price					

Q2. Please indicate your level of agreement with the following descriptions:

	<b>Strongly disagree</b>	<b>Disagree</b>	<b>Neither agree nor disagree</b>	<b>Agree</b>	<b>Strongly agree</b>
The way food is processed has an impact on my health					
Artisanal or homemade foods taste better than supermarket-bought ones					
Artisanal or homemade foods are better for my health than supermarket-bought ones					
Artisanal or homemade foods are more natural than supermarket-bought ones					
Artisanal or homemade foods have less environmental impact than supermarket-bought ones					

## II – Questions about Pizzas

Let's move on to pizzas! They can also be made in a variety of places (in industry, at the caterer's, at home or in a restaurant). We would like to hear what you think about these different types of pizza. Please rate your agreement with the following descriptions.

Q3.A. When I buy a pizza in a **supermarket**, which has been manufactured by an **industrial**, I pay particular attention to:

	Strongly disagree	Disagree	Neither agree nor disagree	Agree	Strongly agree
The local origin of the ingredients used					
The local manufacture of the product					
Absence or limited use of additives					
"colorant free", "additive free" or "no preservatives" claims					
Zero pesticide residues					
Absence of hormones and genetically modified organisms					
The pizza's overall nutritional balance					
The presence of quality labels (e.g., Red Label, Protected Geographical Indication, Controlled Designation of Origin...)					
The presence of an "organic" label (organic farming...)					
A list of ingredients I know and have in my kitchen					
A simple recipe (containing few different ingredients)					
No over-packaging (single packaging)					
The convenience of the product					
To save preparation time					
A long shelf life for the product					
Product safety (no bacterial or chemical contamination, etc.)					
Natural product appearance					
Low environmental impact					
Taste quality					
Fair trade / Fairtrade label					
Economical price					

Q3.B. When I prepare a pizza **at home (in my kitchen)**, I pay particular attention to:

	Strongly disagree	Disagree	Neither agree nor disagree	Agree	Strongly agree
The local origin of the ingredients used					
"colorant free", "additive free" or "no preservatives" claims					
Zero pesticide residues					
Absence of hormones and genetically modified organisms in my ingredients					
The pizza's overall nutritional balance					
The presence of quality labels on the recipe's ingredients (e.g., Red Label, Protected Geographical Indication, Controlled Designation of Origin...)					
The presence of an "organic" label (organic farming...)					
A simple recipe (containing few different ingredients)					
A long shelf life for the pizza ingredients					
The convenience of the products					
To save preparation time					
Product safety (no bacterial or chemical contamination, etc.)					
Natural appearance of the ingredients					
Low environmental impact					
Taste quality					
Fair trade / Fairtrade label					
Economical price					

Q3.C. When I buy a pizza from an **artisan** or a **small merchant** (pizza truck, baker, caterer...), I pay particular attention to:

	Strongly disagree	Disagree	Neither agree nor disagree	Agree	Strongly agree
The local origin of the ingredients used					
The pizza's overall nutritional balance					
The presence of quality labels (e.g., Red Label, Protected Geographical Indication, Controlled Designation of Origin...)					
The presence of an "organic" label (organic farming...)					
A simple recipe (containing few different ingredients)					
No over-packaging (single packaging)					
The convenience of the product					
To save preparation time					
Product safety (no bacterial or chemical contamination, etc.)					
Natural product appearance					
Low environmental impact					
Taste quality					
Fair trade / Fairtrade label					
Economical price					

Q3.D. When I consume a pizza from a **restaurant** (including mass catering), I pay particular attention to:

	Strongly disagree	Disagree	Neither agree nor disagree	Agree	Strongly agree
The local origin of the ingredients used					
The pizza's overall nutritional balance					
The presence of quality labels (e.g., Red Label, Protected Geographical Indication, Controlled Designation of Origin...)					
The presence of an "organic" label (organic farming...)					
A simple recipe (containing few different ingredients)					
To save preparation time					
Product safety (no bacterial or chemical contamination, etc.)					
Natural product appearance					
Low environmental impact					
Taste quality					
Economical price					

Q4. Please indicate how often you consume pizza from the following sources:

	Never	At least once every 3 months	At least once a month	At least once a week	More than once a week
Pizzas bought at the supermarket					
Pizzas bought as takeout (from a truck/food truck)					
Pizzas bought at a restaurant					
Homemade pizzas using pre-made dough and tomato sauce					
Homemade pizzas using flour for the dough and whole tomatoes for the sauce					

Q5. When I eat a pizza at home, I am usually:

- Alone
- With one person
- With two people
- With three people
- With four or more people

Q6. Pizzas are considered processed products. However, distinctions can be made between pizza categories. Please indicate, in your opinion, if the following pizzas (for example, industrial pizzas) are:

	Minimally processed	Slightly processed	Moderately processed	Processed	Highly processed
Margherita pizza (tomato sauce, cheese, ...)					
Cheese pizza					
Ham and cheese pizza					
Delicatessen pizza					
Veggie pizza					
Bolognese pizza					
Seafood pizza					



### III – Information about respondents

Q7. What is the primary occupation of the person contributing the most to the household income?

- Farmer
- Craftsman / Merchant
- Business owner (10 employees or more)
- Senior executive, liberal profession (doctor, dentist, lawyer, etc.)
- Manager, teacher, intermediate profession
- Employee (office, commerce, services, health...)
- Worker
- Retired
- Student
- Other (unemployed, homemaker...)

Q8. What is your marital status?

- Single
- In a relationship: married, civil partnership, other
- Divorced
- Widowed

Q9. Including yourself, how many people live in your household?

- One
- Two
- Three
- Four
- Five and more

Q10. How many children under the age of 18 live in your household?

- None
- One
- Two
- Three
- Four
- Five and more

Q11. You are:

- A man
- A woman
- Other

Q12. Please select the age range you fall into:

- 18-19 years old
- 20-29 years old
- 30-39 years old
- 40-49 years old
- 50-59 years old
- 60 years old or more

**Thank you for your participation!**

**Supplementary Figure 3.** Full questionnaire completed by the participants (n = 1,000). Text was translated from French.

---

Q1. What pizza did you prepare and eat today?

- Fresh already made "Ham and Cheese" pizza
- Assembled "Ham and Cheese" pizza
- Homemade "Ham and Cheese" pizza
- Fresh already made "Four-cheese" pizza
- Assembled "Four-cheese" pizza
- Homemade "Four-cheese" pizza

Q2. In your opinion, was this pizza easy to prepare?

- Very difficult
- Somewhat difficult
- Neither easy nor difficult
- Somewhat easy
- Very easy

Q3. Did you follow the instructions in the recipe?

- Not at all → Q4
- Not too much → Q4
- Neither yes nor no → Q5
- Somewhat yes → Q5
- Yes absolutely → Q5

Q4. What instruction(s) did you not follow and why?

*Free answer*

Q5. After baking your pizza, how much do you want to eat it?

- Not at all
- Not much
- Neither want nor not want
- A little
- A lot

Q6. For homemade pizzas, please inquire:

- Weight of pizza dough: ..... grams.
- Cooking time of the tomato sauce: .... minutes.

Q7. How long did it take you to...

	Time (minutes)
Prepare the pizza (excluding baking)	
Preheat the oven	
Bake the pizza	

Q8. What was the weight of the pizza:

	Weight (grams)
Before baking the pizza dough covered with tomato sauce	
After baking the pizza dough covered with tomato sauce	
Before baking the topped pizza	
After baking the topped pizza	

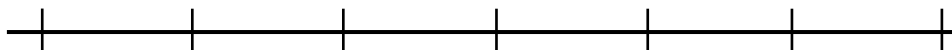
Q9. To bake the pizza, you used a:

- Pizza stone
- Baking paper
- Silicone baking mat
- Baking dish
- I did not use anything
- Other: ...

Q10. In your opinion, the processing level of this pizza is...

Minimally processed

Ultra-processed



**You can now enjoy your pizza, as you usually do. Enjoy your meal! After tasting,**

**move on to the next part of the questionnaire (Supplementary Figure 5).**

**Supplementary Figure 4.** Questionnaire completed by the participants (n = 69) for each of the six pizzas prepared. Text was translated from French.

---

Q1. Before you ate the pizza, how hungry were you?

- Absolutely not hungry
- Not hungry
- Somewhat not hungry
- Moderately hungry
- Somewhat hungry
- Very hungry
- Extremely hungry

Q2. After eating your pizza, you found it...

- Very bad
- Bad
- Somewhat bad
- Neither good nor bad
- Somewhat good
- Good
- Very good

Q3. In which context did you taste this pizza?

- As an appetizer → **Q5**
- As a starter → **Q5**
- As an unaccompanied main course → **Q5**
- As a side dish (e.g., with salad) → **Q4**

Q4. If you ate it as a side dish, what was the side dish?

*Free answer*

Q5. Did you eat the entire pizza (including the crust and every ingredient it contained)?

- Yes → **Q7**
- No → **Q6**

Q6. Why did not you eat all the pizza?

- The pizza was not good, not to my taste
- The pizza was overcooked
- I did not like the crust
- I was not hungry anymore
- I did not eat some of the ingredients: if yes, which and why ?
- Other reason: ...

Q7. For you, the pizza you just ate...

	<b>Strongly disagree</b>	<b>Disagree</b>	<b>Neither agree nor disagree</b>	<b>Agree</b>	<b>Strongly agree</b>
Contains only natural ingredients					
Is good for your health					
Contains many additives (colorants, preservatives, etc.)					
Is environmentally friendly					
Contains many processed or industrial ingredients					
Is of good nutritional quality					
Is very salty					
Is very filling					
Is very fatty					
Is nutritionally balanced					
Is a budget pizza					
Is a high-end pizza					

Q8. In your opinion, the processing level of this pizza is...

Minimally processed

Ultra-processed



Q9. At this precise moment (after you have eaten the pizza), can you assess your state of hunger?

- Absolutely not hungry
- Not hungry
- Somewhat not hungry
- Moderately hungry
- Hungry
- Very hungry
- Extremely hungry

**Supplementary Figure 5.** Questionnaire completed by the participants (n = 69) after tasting each of the six pizzas prepared. Text was translated from French.

---



## K. TABLEAUX SUPPLÉMENTAIRES

**Supplementary Table 1.** List of the unit operations, gathered into categories.

Unit operation	Category	Subcategory	Category score	Unit operation score	Final score
Sifting	P H Y S I C A L	Separation	0.5	1	<b>0.5</b>
Peeling/Shelling			0.5	1	<b>0.5</b>
Racking			0.5	1	<b>0.5</b>
Sieving			0.5	1	<b>0.5</b>
Filtration			0.5	3	<b>1.5</b>
Centrifugation			0.5	3	<b>1.5</b>
Winterization or Dewaxing			0.5	3	<b>1.5</b>
Homogenous mix		Mixing	0.5	1	<b>0.5</b>
Solid/liquid mix			1	1	<b>1</b>
Kneading			1	2	<b>2</b>
Churn			1	3	<b>3</b>
High-pressure homogenization			3	2.5	<b>7.5</b>
Cutting		Modification of particules' size	1	0.5	<b>0.5</b>
Slicing/Shearing/Shredding			1	1	<b>1</b>
Grinding			1	1	<b>1</b>
Pressing			1	1.5	<b>1.5</b>
Crushing/Slow compression			1	1.5	<b>1.5</b>
Whipping			1	1.5	<b>1.5</b>
Crushing			1	2	<b>2</b>
Mixing (with chopping)			1	2	<b>2</b>
Attrition			1	2	<b>2</b>
Reduction passages	1		2	<b>2</b>	

Low pressures (vacuum)		Hydrostatic pressure	3	1.5	<b>4.5</b>
High pressures			3	2	<b>6</b>
Extrusion (without heating)		Texturation	2	2	<b>4</b>
Emulsification			2	2	<b>4</b>
Foaming			2	2	<b>4</b>
Thermisation	T H E R M A L	Thermal treatment (hot)	3	0.75	<b>2.25</b>
Steaming			3	1	<b>3</b>
Blanching			3	1	<b>3</b>
Flash pasteurization			3	1	<b>3</b>
High pasteurization			3	1.33	<b>4</b>
Low pasteurization			3	1.33	<b>4</b>
"Simmering"			3	1.67	<b>5</b>
Sun drying			3	2	<b>6</b>
Medium heating (100-150 °C)			3	2	<b>6</b>
Ultra-high temperature (UHT) sterilization			3	2	<b>6</b>
Strong heating (150-200 °C)			3	2.5	<b>7.5</b>
Extrusion cooking			3	3	<b>9</b>
Very intense heating (> 200 °C)			3	3	<b>9</b>
Frying			3	3	<b>9</b>
Refrigeration				Thermal treatment (cold)	0.5
Cryogenic freezing	0.5	1.5			<b>0.75</b>
Deep-freezing	0.5	2			<b>1</b>
Freezing	0.5	3			<b>1.5</b>
Thickening by cooling	0.5	3			<b>1.5</b>
Chlorine washing	C H E M I C A L	Raw material transfer	3	1	<b>3</b>
Crystallization			3	1	<b>3</b>
Salting			3	1.5	<b>4.5</b>
Brining			3	1.5	<b>4.5</b>
Smoking			3	2	<b>6</b>
Solvent extraction			3	2	<b>6</b>

Carbonation			3	2	<b>6</b>
Water washing	P H Y S I C A L		1	0.5	<b>0.5</b>
Stuffing			2	0.25	<b>0.5</b>
Imbibition			2	0.5	<b>1</b>
Marinade			2	1	<b>2</b>
Deodorization / Discoloration			2	1	<b>2</b>
Deaeration			2	1	<b>2</b>
Dripping			T H E R M A L		0.5
Freeze-drying	2	2			<b>4</b>
Evaporation	3	2			<b>6</b>
Atomization	3	2			<b>6</b>
Distillation	3	2			<b>6</b>
Drying	3	2			<b>6</b>
Inoculation (ferment or bacteria)	B I O L O G I C A L		2	0.5	<b>1</b>
Sourdough inoculation			2	0.5	<b>1</b>
Short ripening (< 1 month)			2	1.5	<b>3</b>
Bacterial fermentation			2	1.5	<b>3</b>
Yeast fermentation			2	1.5	<b>3</b>
Medium ripening (1-4 months)			2	2.5	<b>5</b>
Long ripening (> 4 months)			2	3.5	<b>7</b>
Enzymatic hydrolysis			3	3	<b>9</b>
Rennet-induced milk coagulation	3	3	<b>9</b>		
Fortification with minerals or vitamins	C H E M I C A L		3	0.5	<b>1.5</b>
Ozonation			3	3	<b>9</b>
Addition of melting salts			3	3	<b>9</b>
Paraffin addition			3	3	<b>9</b>
Addition of other chemicals			3	3	<b>9</b>

**Supplementary Table 2.** Detailed data relating to the Process-Score of soft breads:  
**(a)** Extract from the catalog of generic unit operations used for soft bread production diagrams; **(b)** Process-Scores of the main soft bread ingredients.

**(a)**

Unit operation	Category	Description	Points
Cutting	Mechanical	Simple, relatively rough cutting	0.5
Homogenous mixture	Mechanical	Mixing 2 or more compounds in the same state (gas, liquid, or solid)	0.5
Solid-liquid mixture	Mechanical	Mixing 2 or more compounds in different states	1
Crushing / slow compression	Mechanical	Flattening something by strong compression	1.5
Kneading	Mechanical	Pressing multiple times to give shape and structure	2
Cooling	Thermal	Reducing the temperature of the product up to 0–4 °C	0.5
Liquid bleeding	Thermal	Loss of liquid during a period of cooling, drying, or relaxation	1
Tempering (proofing)	Thermal	Tempering in a humid atmosphere, in a closed area (< 40 °C)	3
Medium heating	Thermal	Oven heating, in the 100–150 °C range for < 30 min	6
Intense heating	Thermal	More intense heating, in the 150–200 °C range for < 30 min   or 100-150 °C for > 30 min	7.5
Very intense heating	Thermal	Very strong heating, close to roasting, with temperatures > 200 °C   or 150-200 °C for > 30 min	9
Short yeast fermentation	Biological	Short microbiological action (< 1 day)	4

**(b)**

<b>Ingredient</b>	<b>Total Process-Score</b>
Water	0.00
Butter	14.00
Wheat flour (T80)	22.00
Sugar	23.00
Wheat flour (T45)	26.50
Salt	31.00
Fresh yeast	33.25
Dry yeast	39.25
Colza oil / Sunflower oil	40.50

**Supplementary Table 3.** Selected ions corresponding to the chromatographic peaks of the volatile compounds treated by extracted ion chromatogram.

<b>Compound</b>	<b>CAS Number</b>	<b>Kovats Retention Index</b>	<b>Retention time (min)</b>	<b>Selected ions</b>
acetic acid	64-19-7	619 ± 22	7.80 ± 0.14	45; 60
pentanal	110-62-3	698 ± 14	12.37 ± 0.05	39; 41; 44; 58
hexanal	66-25-1	797 ± 34	17.35 ± 0.05	56; 82
2,5-dimethylpyrazine	123-32-0	916 ± 12	22.91 ± 0.05	42; 81; 108
ethyl butanoate	105-54-4	798 ± 10	17.27 ± 0.04	88
butan-2-one	78-93-3	587 ± 23	8.18 ± 0.07	72
propanoic acid	79-09-4	704 ± 24	12.41 ± 0.64	73; 74
ethyl heptanoate	106-30-9	1,095 ± 9	30.86 ± 0.02	60; 61; 73; 88; 101; 113; 115
benzaldehyde	100-52-7	954 ± 80	25.51 ± 0.06	77; 105; 106
2-phenylethanol	60-12-8	1,112 ± 58	32.05 ± 0.07	92; 122
butane-2,3-dione	431-03-8	596 ± 12	7.98 ± 0.06	86
3-hydroxybutan-2-one	513-86-0	713 ± 13	12.97 ± 0.08	43; 88
2-methylpropanal	78-84-2	552 ± 12	7.12 ± 0.06	72
propan-1-ol	71-23-8	551 ± 19	7.03 ± 0.08	31; 59; 60