



**HAL**  
open science

**Relations entre l'attirance sensorielle des consommateurs pour le gras, le salé et le sucré et leurs comportements alimentaires et leur état nutritionnel. Rôle modulateur des facteurs démographiques, socioéconomiques, psychologiques, de mode de vie et de santé**

Aurelie Lampuré

► **To cite this version:**

Aurelie Lampuré. Relations entre l'attirance sensorielle des consommateurs pour le gras, le salé et le sucré et leurs comportements alimentaires et leur état nutritionnel. Rôle modulateur des facteurs démographiques, socioéconomiques, psychologiques, de mode de vie et de santé. Biochimie, Biologie Moléculaire. Université Sorbonne Paris Cité, 2016. Français. NNT : 2016USPCD039 . tel-02001839v2

**HAL Id: tel-02001839**

**<https://theses.hal.science/tel-02001839v2>**

Submitted on 2 Feb 2019

**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.

UNIVERSITÉ PARIS 13

« ÉQUIPE DE RECHERCHE EN ÉPIDÉMIOLOGIE NUTRITIONNELLE »

Année 2016

N°

## **THESE**

Pour obtenir le grade de

**DOCTEUR DE L'UNIVERSITÉ PARIS 13**

*Discipline : Biologie (Epidémiologie - Santé Publique)*

Présentée et soutenue publiquement le Lundi 28 Novembre 2016 par

**Aurélie LAMPURÉ**

Née le 2 Mai 1989, à Libourne

**Relations entre l'attirance sensorielle des consommateurs pour le gras, le salé et le sucré et leurs comportements alimentaires et leur état nutritionnel. Rôle modulateur des facteurs démographiques, socioéconomiques, psychologiques, de mode de vie et de santé.**

Thèse dirigée par

**Monsieur Serge Hercberg, Professeur**

Et co-encadrée par

**Madame Caroline Méjean, Docteur**

### **JURY**

Monsieur Serge Hercberg, Professeur

Directeur de thèse

Madame Sylvie Issanchou, Docteur

Rapporteur

Monsieur Daniel Tomé, Professeur

Rapporteur

Madame Blandine de Lauzon-Guillain, Docteur

Examineur

Madame Sylvie Després, Professeur

Examineur

Madame Michelle Holdsworth, Professeur

Examineur

Madame Caroline Méjean, Docteur

Examineur





# Remerciements

---

Je tiens tout d'abord à remercier mon directeur de thèse, le Professeur Serge Hercberg, pour l'opportunité qu'il m'a donnée de réaliser ma thèse au sein de son laboratoire et de la chance que j'ai eu de travailler sur les données de la cohorte NutriNet-Santé.

Je remercie tout particulièrement le Docteur Caroline Méjean pour son encadrement tout au long de cette thèse. Cette collaboration enrichissante avait commencé dès mon stage de Master 2 et fut un réel plaisir tout au long de cette thèse. Sa confiance, ses conseils, sa patience et son écoute ont rendu cette aventure tellement appréciable. Elle a su détecter des capacités que je ne me connaissais pas, déceler le « chercheur » qui était en moi et me valoriser à chaque instant. Je ne la remercierai jamais assez pour ces trois années et demie, elle a su me donner la confiance et le courage nécessaires pour arriver au bout.

Je souhaite également adresser mes remerciements à mes co-auteurs, les Docteurs Katia Castetbon, Pascal Schlich, Amélie Deglaire et Sandrine Péneau pour leurs remarques et leurs conseils avisés à plusieurs occasions lors de cette thèse.

Je souhaite faire part de ma reconnaissance au Docteur Sylvie Issanchou et au Professeur Daniel Tomé d'avoir accepté de consacrer du temps à la lecture de cette thèse et à l'intérêt qu'ils manifestent pour ce travail et sa thématique.

J'exprime aussi mes remerciements au Professeur Michelle Holdsworth, au Professeur Sylvie Després et au Docteur Blandine de Lauzon-Guillain d'avoir accepté de participer à mon jury de thèse.

Je souhaite également remercier la région Ile-de-France et le DIM ASTREA pour l'allocation doctorale qui m'a permis de réaliser cette thèse.

Je remercie toutes les personnes de l'Equipe de Recherche en Epidémiologie Nutritionnelle pour leur accueil, leur accessibilité ainsi que les sourires et les échanges partagés. Je pense particulièrement aux Docteurs Benjamin Allès et Emmanuelle Kesse-Guyot pour leur sympathie et les discussions méthodologiques que nous avons pu avoir ; à Julien Allègre et Fabien Szabo pour l'extraction de mes données; à Jagatjit Mohinder pour sa gentillesse, son soutien informatique et les supports « gras-sucré » ; à Anouar Nechba pour l'appui statistique ; à Rose Aris et Marie Ajanohun pour leur aide administrative (et leurs déhanchés). Je remercie également toutes les personnes ayant participé, de près ou de loin, à l'étude NutriNet-Santé.

Un immense merci aux autres doctorants de l'unité, que l'on ait partagé un bureau ou non, depuis le début ou depuis quelques jours : Camille, Géraldine, Julia, Karen, Marc, Mehdi, Mélanie, Moufidath, Philippine, Pauline, Roland et Valentin pour les nombreuses discussions, les réflexions, les rires partagés et surtout les (très) nombreux fou-rires. J'ajoute une mention spéciale à Wendy « la limace » et Solia « la sista » pour leur soutien indéfectible qui m'a beaucoup aidée, surtout pendant la dernière ligne droite. Je retiens les nombreux moments partagés au labo ou ailleurs, les passions communes (notamment pour la nourriture et les vidéos de chats) et ces belles amitiés qui se sont créées.

Je souhaite remercier mes amis qui, d'une manière ou d'une autre, m'ont soutenue pendant ces trois années. Une mention spéciale à Martine & Bernard pour leur humour et leur joie de vivre communicative. Je souhaite également remercier Maryse pour son accueil, sa gentillesse et tout ce qu'elle a fait pour moi quand j'ai débarqué en petite provinciale à Paris. Je souhaite aussi sincèrement remercier Inès qui a toujours été là, qui a connu les doutes et les hésitations à « faire de la recherche » et qui a toujours cru en moi.

Je remercie profondément mes grands-parents, mes parents et ma sœur ainsi que toute ma famille pour leur soutien moral et leurs encouragements. Ma grand-mère m'a toujours encouragée à faire des études et à « bien travailler à l'école », je lui en suis très reconnaissante.

Enfin, je voudrais remercier indéfiniment Herman pour tout... sa présence, son amour et son soutien m'ont permis d'en arriver là.

# Table des matières

---

Remerciements .....	3
Table des matières .....	5
Valorisation scientifique .....	9
Liste des tableaux.....	13
Liste des figures .....	14
Liste des abréviations .....	15
<b>Introduction générale .....</b>	<b>17</b>
<b>1 Relations nutrition-santé : un enjeu de santé publique .....</b>	<b>17</b>
1.1 Nutrition et santé.....	17
1.2 Recommandations et mesures de santé publique.....	18
<b>2 Le comportement alimentaire.....</b>	<b>21</b>
2.1 Définition .....	21
2.2 Les consommations alimentaires.....	22
<b>3 Déterminants du comportement alimentaire : nouvel enjeu de santé publique .....</b>	<b>23</b>
3.1 Déterminants environnementaux .....	25
3.1.1 Approvisionnement et offre alimentaire.....	25
3.1.2 Contexte de la consommation .....	26
3.1.3 Caractéristiques de l'aliment.....	26
3.2 Déterminants individuels.....	27
3.2.1 Déterminants génétiques et biologiques .....	27
3.2.2 Déterminants socioéconomiques et démographiques.....	28
3.2.3 Déterminants psychologiques.....	30
3.2.4 Déterminants sensoriels .....	31
<b>4 Les déterminants sensoriels du comportement alimentaire .....</b>	<b>31</b>

4.1	Le goût .....	32
4.2	Développement du goût et apprentissage alimentaire .....	33
4.3	Sensibilité et perception gustatives .....	34
4.4	Circuit de la récompense .....	36
4.5	Attirance et préférences .....	38
<b>5</b>	<b>Etude de l'attirance sensorielle .....</b>	<b>39</b>
5.1	Mesure de l'attirance sensorielle.....	39
5.2	Attirance sensorielle et consommations alimentaires.....	41
5.3	Attirance sensorielle et statut pondéral .....	43
5.4	Attirance sensorielle et caractéristiques individuelles.....	44
5.5	Proposition d'un cadre conceptuel établi <i>a priori</i> .....	46
	<b>Objectifs .....</b>	<b>49</b>
	<b>Méthodes .....</b>	<b>50</b>
<b>1</b>	<b>Population d'étude : la cohorte NutriNet-Santé .....</b>	<b>50</b>
1.1	Présentation .....	50
1.2	Collecte et traitement des données.....	52
1.2.1	<i>Données démographiques, socioéconomiques et de mode de vie.....</i>	<i>52</i>
1.2.2	<i>Données de santé .....</i>	<i>53</i>
1.2.3	<i>Données anthropométriques.....</i>	<i>54</i>
1.2.4	<i>Données d'activité physique .....</i>	<i>55</i>
1.2.5	<i>Données alimentaires.....</i>	<i>56</i>
1.2.6	<i>Données d'attirance sensorielle pour le gras, le salé et le sucré.....</i>	<i>61</i>
1.2.7	<i>Données psychologiques.....</i>	<i>64</i>
1.2.8	<i>Données de désirabilité sociale .....</i>	<i>65</i>
<b>2</b>	<b>Méthodes d'analyse.....</b>	<b>66</b>
2.1	Sélection de l'échantillon .....	66
2.2	Méthodes statistiques .....	66
2.2.1	<i>Analyses statistiques pour évaluer les relations entre les caractéristiques individuelles et l'attirance pour le gras, le salé et le sucré .....</i>	<i>71</i>

2.2.2	<i>Analyses statistiques pour évaluer les relations entre l'attirance pour le gras, le salé et le sucré, les consommations alimentaires et le statut pondéral.....</i>	72
2.3	Caractéristiques des participants .....	78
<b>Résultats.....</b>		<b>80</b>
1	Associations entre l'attirance sensorielle pour le gras-salé et le gras-sucré et les caractéristiques sociodémographiques, psychologiques, de modes de vie et de santé .....	81
2	Associations entre l'attirance pour les goûts salé et sucré et les caractéristiques démographiques, psychologiques et de mode de vie.....	94
3	Association entre l'attirance sensorielle pour le gras, le salé et le sucré et le risque prospectif d'obésité. Etude de l'effet médiateur de l'alimentation .....	104
4	Rôle relatif des déterminants démographiques, sensoriels, socioéconomiques, psychologiques et de mode de vie, de l'alimentation et de l'activité physique sur la variation de poids sur 5 ans .....	124
<b>Discussion générale .....</b>		<b>158</b>
1	<b>Principaux résultats .....</b>	<b>158</b>
1.1	L'attirance sensorielle : un déterminant majeur des consommations alimentaires et du statut pondéral.....	160
1.2	Caractérisation des individus selon les niveaux d'attirance sensorielle et effets relatifs des déterminants individuels de la consommation et du statut pondéral .....	163
2	<b>Considérations méthodologiques.....</b>	<b>167</b>
2.1	Validité des données .....	167
2.1.1	<i>Données d'attirance sensorielle.....</i>	167
2.1.2	<i>Données anthropométriques.....</i>	169
2.1.3	<i>Données alimentaires.....</i>	170
2.2	Représentativité des échantillons et généralisation des résultats.....	171
2.3	Schémas d'études et puissance statistique.....	173
3	<b>Perspectives.....</b>	<b>174</b>
3.1	Amélioration de la mesure de l'attirance sensorielle par questionnaire .....	174

3.2	Biais de désirabilité sociale, attirance sensorielle et consommations alimentaires	175
3.3	Attirance sensorielle pour le gras, le salé et le sucré, et incidence de maladies chroniques.....	175
<b>4</b>	<b>Applications en santé publique.....</b>	<b>176</b>
4.1	Education sensorielle.....	176
4.2	Modification de l'offre.....	176
4.3	Amélioration de la prise en charge nutritionnelle.....	177
	<b>Conclusion .....</b>	<b>178</b>
	Références bibliographiques .....	179
	Liste des annexes.....	210

# Valorisation scientifique

---

## Publications

**Lampuré A**, Castetbon K, Hanafi M, Deglaire A, Schlich P, Péneau S, Hercberg S, Méjean C. Relative influence of socioeconomic, psychological and sensory characteristics, physical activity and diet on 5-year weight gain (*soumis*).

**Lampuré A**, Castetbon K, Deglaire A, Schlich P, Péneau S, Hercberg S, Méjean C. Prospective association between liking for fat, sweet and salt and obesity risk in French adults. *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*, 2016 Jul;13(74):1-15.

**Lampuré A**, Schlich P, Deglaire A, Castetbon K, Péneau S, Hercberg S, Méjean C. Socio-demographic, psychological, and lifestyle characteristics are associated with a liking for salty and sweet tastes in French adults. *Journal of Nutrition*, 2015 Mar;145(3):587-94.

**Lampuré A**, Deglaire A, Schlich P, Castetbon K, Péneau S, Hercberg S, Méjean C. Liking for fat is associated with sociodemographic, psychological, lifestyle and health characteristics. *British Journal of Nutrition*, 2014 Oct;112(8):1353-63.

## Communications orales

**Lampuré A**, Castetbon K, Hanafi M, Deglaire A, Schlich P, Péneau S, Hercberg S, Méjean C. Influence of sensory, psychological, socioeconomic and lifestyle factors on diet and 5-year weight gain. *7<sup>th</sup> European Conference on Sensory and Consumer Research, September 11-14 2016, Dijon, France*.

**Lampuré A**, Castetbon K, Hanafi M, Deglaire A, Schlich P, Péneau S, Hercberg S, Méjean C. Influence of sensory, psychological, socioeconomic and lifestyle factors on diet and 5-year weight gain. *The British Feeding and Drinking Group, 2016 meeting, April 7-8 2016, Teddington, London, England*.

**Lampuré A**, Castetbon K, Deglaire A, Schlich P, Péneau S, Hercberg S, Méjean C. Association de l'attirance sensorielle pour le gras, le sale et le sucré avec le risque prospectif d'obésité. *32<sup>ème</sup> journées scientifiques de l'AFERO, 14-15 Janvier 2016, Paris*.



**Lampuré A**, Castetbon K, Deglaire A, Schlich P, Péneau S, Hercberg S, Méjean C. Influence de l'attirance pour le gras et le sucré sur le risque d'obésité. *7<sup>ème</sup> Colloque du CORDDIM, 16 Septembre 2015, Paris.*

**Lampuré A**, Castetbon K, Deglaire A, Schlich P, Péneau S, Hercberg S, Méjean C. Influence of liking for fat and sweet on the risk of obesity. *11<sup>th</sup> Pangborn Sensory Science Symposium, August 23-27, 2015, Gothenburg, Sweden.*

**Lampuré A**, Hercberg S, Méjean C. Relations entre l'attirance sensorielle des consommateurs pour le gras, le salé et le sucré et leurs comportements alimentaires et leur état nutritionnel. Rôle modulateur des facteurs sociodémographiques, psychologiques, de mode de vie et de santé. *Journée des doctorants du DIM ASTREA, 27 Mars 2015, Paris.*

**Lampuré A**, Deglaire A, Schlich P, Castetbon K, Péneau S, Hercberg S, Méjean C. Obesity is associated with a strong liking for fat sensation. *21<sup>th</sup> European Congress on Obesity, May 28-31, 2014, Sofia, Bulgaria.* Abstract in *Obesity Facts* 2014; 7 (Suppl 1):21.

### **Communications affichées**

**Lampuré A**, Castetbon K, Deglaire A, Schlich P, Hercberg S, Méjean C. Influence des facteurs individuels sur l'alimentation et la variation de poids sur 5 ans (NutriNet-Santé, France). *VII<sup>ème</sup> Congrès international d'Epidémiologie ADELFF-EPITER, "Epidémiologie et Santé Publique", 7-9 Septembre 2016, Rennes.*

**Lampuré A**, Castetbon K, Deglaire A, Schlich P, Péneau S, Hercberg S, Méjean C, Ducrot P. Prospective association between liking for fat, sweet and salt and obesity risk in French adults. *The XIII International Congress on Obesity, May 1-4 2016, Vancouver, Canada.*

**Lampuré A**, Castetbon K, Deglaire A, Schlich P, Péneau S, Hercberg S, Méjean C, Ducrot P. Influence of sensory, psychological, socioeconomic and lifestyle factors on dietary intake and 4-year weight changes *The XIII International Congress on Obesity, May 1-4 2016, Vancouver, Canada.*

**Lampuré A**, Deglaire A, Schlich P, Urbano C, Péneau S, Hercberg S, Castetbon K, Méjean C. Variation of correlations between liking for fat, sweet and salt measured by questionnaire or by sensory tests according to social desirability bias. *The British Feeding and Drinking Group, 2016 meeting, April 7-8 2016, Teddington, London, England.*

**Lampuré A**, Castetbon K, Deglaire A, Schlich P, Péneau S, Hercberg S, Méjean C. Prospective association between liking for fat, sweet and salt and obesity risk in French adults. *The British Feeding and Drinking Group, 2016 meeting, April 7-8 2016, Teddington, London, England.*

**Lampuré A**, Castetbon K, Deglaire A, Schlich P, Péneau S, Hercberg S, Méjean C. Association de l'attirance sensorielle pour le gras, le salé et le sucré avec le risque prospectif d'obésité. *13èmes Journées Francophones de Nutrition, 9-11 Décembre 2015, Marseille.*

**Lampuré A**, Deglaire A, Schlich P, Urbano C, Péneau S, Hercberg S, Castetbon K, Méjean C. Variation des corrélations entre l'attirance sensorielle déclarée et l'attirance sensorielle mesurée pour le gras, le salé et le sucré selon le niveau de désirabilité sociale. *13èmes Journées Francophones de Nutrition, 9-11 Décembre 2015, Marseille.*

**Lampuré A**, Castetbon K, Deglaire A, Schlich P, Péneau S, Hercberg S, Méjean C. The risk of obesity is associated with fat and sweet liking. *12<sup>th</sup> European Nutrition Conference, FENS 2015, October 20-23, 2015, Berlin, Germany.* Ann Nutr Metab 2015; 67(Suppl 1):347.

**Lampuré A**, Deglaire A, Schlich P, Castetbon K, Péneau S, Hercberg S, Méjean C. Individual characteristics associated with fat liking. *12<sup>th</sup> European Nutrition Conference, FENS 2015, October 20-23, 2015, Berlin, Germany.* Ann Nutr Metab 2015; 67(Suppl 1):346.

**Lampuré A**, Schlich P, Deglaire A, Castetbon K, Péneau S, Hercberg S, Méjean C. Liking for salty and sweet tastes are associated with individual characteristics. *11<sup>th</sup> Pangborn Sensory Science Symposium, August 23-27, 2015, Gothenburg, Sweden.*

**Lampuré A**, Schlich P, Deglaire A, Castetbon K, Péneau S, Hercberg S, Méjean C. Les caractéristiques sociodémographiques, psychologiques et de mode de vie sont associées avec l'attirance pour le salé et le sucré. *12<sup>èmes</sup> Journées Francophones de Nutrition, 10-12 Décembre 2014, Bruxelles, Belgique.* Nutrition clinique et métabolisme 2014;28(Suppl 1):S8.

**Lampuré A**, Deglaire A, Schlich P, Castetbon K, Péneau S, Hercberg S, Méjean C. Liking for fat is associated with sociodemographic, psychological, lifestyle and health characteristics. *6<sup>th</sup> European Conference on Sensory and Consumer Research, September 7-10, 2014, Copenhagen, Denmark.*

**Lampuré A**, Hercberg S, Méjean C. Relations entre les préférences pour les sensations de gras, de salé et de sucré et les comportements alimentaires et l'état nutritionnel. Rôle modulateur des facteurs sociodémographiques, économiques, psychologiques, de mode de vie et de santé. *Journée des doctorants du DIM ASTREA, 17 Mars 2014, Paris.*

## ***Actions de communication et de vulgarisation scientifique***

**Lampuré A.** Nutrition et santé, une relation à décrypter. Conférence grand public, programme « le goût et la gourmandise » des bibliothèques de la ville de Paris, 27 Novembre 2014, *Bibliothèque Mohammed Arkoun, Paris.*

**Lampuré A,** Hercberg S, Méjean C. *Communiqué de presse* « une forte attirance pour le gras est associée à des profils individuels spécifiques ». 1<sup>er</sup> Octobre 2014, diffusion AFP.

## ***Distinctions***

**Prix de thèse** de la Société Française d'Analyse Sensorielle, Paris, 2016

**Young Scientist Award**, 11<sup>th</sup> Pangborn Sensory Science Symposium, Suède, 2015

# Liste des tableaux

---

Tableau 1 : Liste des aliments répertoriés dans le PrefQuest entrant dans la construction des scores d'attirance sensorielle pour le gras, le salé et le sucré .....	62
Tableau 2 : Description des variables utilisées dans les analyses .....	68
Tableau 3 : Description des principales analyses statistiques réalisées pour les travaux de thèse présentées en résultats.....	76
Tableau 4 : Comparaison des caractéristiques des sujets ayant répondu au PrefQuest et des sujets n'y ayant pas répondu. Etude NutriNet-Santé (2009-2010) N=65 683 .....	79
Tableau 5 : Résultats de l'attirance sensorielle pour le gras, le salé et le sucré en lien avec la variation de poids et la fluctuation pondérale.....	123
Tableau 6 : Associations entre l'attirance sensorielle pour le gras et l'évolution du poids (log-transformé) sur un suivi de 6 ans, stratifiées selon le niveau de restriction cognitive (RC) chez 44846 femmes, NutriNet-Santé.....	155
Tableau 7 : Associations entre l'attirance sensorielle pour le gras et l'évolution du poids (log-transformé) sur un suivi de 6 ans, stratifiées selon le niveau de restriction cognitive (RC) chez 13493 hommes, NutriNet-Santé.....	155
Tableau 8 : Corrélations entre attirance mesurée et attirance déclarée pour le gras, le sucré et le salé stratifiées selon le niveau de désirabilité sociale .....	156

# Liste des figures

---

Figure 1 : Les 9 repères de consommation correspondants aux objectifs du PNNS (Hercberg, 2008) .....	20
Figure 2 : Pyramide alimentaire « the healthy eating pyramid » (développée par le département de nutrition de l'école de santé publique d'Harvard) .....	23
Figure 3 : Déterminants environnementaux et individuels des comportements alimentaires.	24
Figure 4 : Déterminants sensoriels de la consommation alimentaire, traduit et adapté (Cox, 2016a).....	32
Figure 5 : Cycle de « plaisir alimentaire » associé au circuit de la récompense, traduit et adapté (Jager, 2014; Kringelbach, 2012).....	37
Figure 6 : Cadre conceptuel causal des déterminants individuels des consommations alimentaires et du statut pondéral, proposé à priori .....	48
Figure 7 : Ecran d'accueil du site Internet de l'étude NutriNet-Santé .....	51
Figure 8 : Exemple de saisie des aliments et boissons dans l'outil d'enregistrement alimentaire de 24h, NutriNet-Santé .....	57
Figure 9 : Photographies de portions de l'outil d'enregistrement alimentaire de 24h, NutriNet-Santé.....	58
Figure 10 : Schéma détaillant les étapes d'identification des surconsommations .....	59
Figure 11 : Extrait du questionnaire PrefQuest (Deglaire, 2012).....	63
Figure 12 : Structure d'un modèle d'équations structurelles, en orange le modèle externe/de mesure, en vert le modèle interne/structurel (source : cours de statistique multivariée approfondie XLSTAT).....	74
Figure 13 : Cadre conceptuel décrivant les relations entre les déterminants individuels des consommations alimentaires et du statut pondéral .....	159

# Liste des abréviations

---

**ANR** : Agence Nationale de la Recherche

**BMR** : Basal Metabolic Rate

**CFA** : Confirmatory Factor Analysis

**CSGA** : Centre des Sciences du Goût et de l'Alimentation

**EE** : Energy Expenditure

**EI** : Energy Intake

**F** : Femme

**FTO** : FaT-mass Obesity-associated

**GWAS** : Genome Wide Association Study

**H** : Homme

**HDL** : High-Density Lipoprotein

**HR** : Hasard Ratio

**HTA** : Hypertension Artérielle

**IC** : Intervalle de Confiance

**IMC** : Indice de Masse Corporelle

**LISREL** : LInear Structural RELations

**LOCF** : Last Observation Carried Forward

**PAL** : Physical Activity Level

**PNNS** : Programme National Nutrition Santé

**PNNS-GS** : Programme National Nutrition Santé-Guidelines Score

**PROP** : 6-n-propylthiouracil

**PTC** : Phenylthiocarbamide

**RC** : Rapport de Côtés

**RD** : Réduction de la Déviance

**RHR** : Réduction de l'Hasard Ratio

**SEM** : Structural Equation Modeling

**SU.VI.MAX** : SUplémentation en VItamines et Minéraux AntioXydants

**TFEQ** : Three-Factor Eating Questionnaire

# Introduction générale

---

## 1 Relations nutrition-santé : un enjeu de santé publique

### 1.1 Nutrition et santé

Les prévalences des maladies chroniques telles que l'obésité, les maladies cardiovasculaires, le diabète ont rapidement augmenté ces dernières décennies à la fois dans les pays industrialisés comme dans les pays émergents et en développement (World Health Organization, 2003). Elles représentent la première cause de mortalité dans le monde et sont des problèmes majeurs de santé publique mondiaux (World Cancer Research Fund / American Institute for Cancer Research, 2007; World Health Organization, 2014). De nombreux travaux cliniques, physiopathologiques et épidémiologiques, suggèrent que les facteurs nutritionnels sont des facteurs de risque ou de protection de ces pathologies (World Cancer Research Fund / American Institute for Cancer Research, 2007; World Health Organization, 2014). Bien que ces maladies soient multifactorielles et qu'il soit difficile de déterminer avec précision la part imputable à l'alimentation, de nombreux travaux soulignent son rôle majeur.

Les études portant sur le rôle de l'alimentation dans le déterminisme de la santé ont estimé le plus souvent l'effet spécifique d'un nutriment ou d'un aliment sur certaines pathologies. La prise en compte de l'alimentation dans sa globalité s'est considérablement développée au cours des quinze dernières années. Les données épidémiologiques, existantes à ce jour suggèrent une association entre les apports en certains groupes d'aliments (effet protecteur des fruits et légumes, du poisson, des produits complets ; effet délétère du sel, des produits carnés, de l'alcool, des graisses saturées), l'activité physique/la sédentarité, et le risque de maladies chroniques (cancers, maladies cardiovasculaires, hypertension artérielle (HTA), diabète, obésité) (Estruch, 2013; INCa/NACRe, 2009; Mellen, 2008; Srinath, 2004; World Cancer Research Fund / American Institute for Cancer Research, 2007; World Health Organization, 2003). Des travaux suggèrent également des relations entre ces pathologies et certains nutriments spécifiques : vitamines E, B6 et B12, folates et acides gras polyinsaturés oméga-3 et les maladies cardiovasculaires et neurodégénératives (Friso, 2012; Hung, 2003; Mazza, 2007; Mozaffarian, 2011b; Saremi, 2010) ; entre calcium et vitamine D et



l'ostéoporose (Jackson, 2006; Tang, 2007) ; entre les apports énergétiques et protéiques et la sarcopénie (Paddon-Jones, 2008; Paddon-Jones, 2009) pour les plus connues.

L'évolution des prévalences de maladies chroniques ces dernières décennies est corrélée aux changements alimentaires profonds observés dans de nombreux pays industrialisés. Les consommations alimentaires ont connu de fortes évolutions en France notamment avec la progression de la restauration hors domicile et l'expansion de la grande distribution (Etievant, 2010). Les principales évolutions d'achats entre 1960 et 2006 indiquent une augmentation de la consommation de plats préparés, de conserves et de produits céréaliers transformés (Herpin, 2008; INSEE, 2015). Au niveau nutritionnel, de façon très marquée, les consommations d'aliments pourvoyeurs de glucides complexes comme le pain, les pommes de terre, les légumes secs ont chuté en quelques décennies (HCSP, 2000). Les apports en aliments pourvoyeurs de protéines ont fortement augmenté (viandes/poissons/œufs, produits laitiers), de même que les consommations de fruits et légumes et les apports en produits sucrés. A l'inverse, les apports énergétiques ont globalement diminué dans la même période et l'activité physique a été fortement réduite suite aux changements globaux de mode de vie. Ces évolutions ont conduit à un déséquilibre des apports en glucides et lipides, à la faveur des seconds (HCSP, 2000). Au niveau des consommations individuelles chez les adultes, les apports en fruits et légumes, glucides complexes, fibres, produits céréaliers complets et poissons sont actuellement trop faibles dans la population française par rapport aux recommandations (Castetbon, 2014a; USEN, 2007). En revanche, ceux en sel, lipides et acides gras saturés sont trop élevés globalement. Pour les féculents, le groupe des viandes/poissons/œufs, les produits laitiers, ou encore l'alcool, les niveaux d'apports sont relativement satisfaisants dans l'ensemble (Castetbon, 2014a; USEN, 2007).

## **1.2 Recommandations et mesures de santé publique**

Depuis de nombreuses années, la prévention en nutrition est particulièrement active dans les pays industrialisés, la nutrition étant un facteur modifiable impactant directement les majeures pathologies chroniques. En France, le Programme National Nutrition Santé (PNNS) définit la stratégie de la politique publique de prévention nutritionnelle (Hercberg, 2008). Sur la base des objectifs de santé publique définis, les recommandations se font essentiellement par des messages de prévention à caractère sanitaire associés aux annonces dans tous les médias (télévision, presse, radio, etc.) pour les boissons et produits alimentaires manufacturés. Des guides explicatifs « grand public » et des guides destinés aux populations spécifiques ont également été élaborés pour expliquer les objectifs du PNNS ainsi que pour informer et conseiller les individus en matière de nutrition. Des repères

de consommations correspondants aux objectifs du PNNS ont été élaborés afin de tendre vers une alimentation équilibrée de meilleure qualité et la pratique d'une activité physique régulière (Figure 1).

<b>Fruits et légumes</b>		<b>au moins 5 par jour</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>à chaque repas et en cas de petits creux</li> <li>crus, cuits, nature ou préparés</li> <li>frais, surgelés ou en conserve</li> </ul>
<b>Pains, céréales pommes de terre et légumes secs</b>		<b>à chaque repas et selon l'appétit</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>favoriser les aliments céréaliers complets ou le pain bis</li> <li>privilégier la variété</li> </ul>
<b>Lait et produits laitiers (yaourts, fromages)</b>		<b>3 par jour</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>privilégier la variété</li> <li>privilégier les fromages les plus riches en calcium, les moins gras et les moins salés</li> </ul>
<b>Viandes et volailles produits de la pêche et œufs</b>		<b>1 à 2 fois par jour</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>en quantité inférieure à celle de l'accompagnement</li> <li>viande : privilégier la variété des espèces et les morceaux les moins gras</li> <li>poisson : au moins 2 fois par semaine</li> </ul>
<b>Matières grasses ajoutées</b>		<b>limiter la consommation</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>privilégier les matières grasses végétales (huiles d'olive, de colza...),</li> <li>favoriser la variété</li> <li>limiter les graisses d'origine animale (beurre, crème...)</li> </ul>
<b>Produits sucrés</b>		<b>limiter la consommation</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>attention aux boissons sucrées</li> <li>attention aux aliments gras et sucrés à la fois (pâtisseries, crèmes dessert, chocolat, glaces...)</li> </ul>
<b>Boissons</b>		<b>de l'eau à volonté</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>au cours et en dehors des repas</li> <li>limiter les boissons sucrées (privilégier les boissons <i>light</i>)</li> <li>boissons alcoolisées : ne pas dépasser, par jour, 2 verres de vin (de 10 cl) pour les femmes et 3 pour les hommes. 2 verres de vin sont équivalents à 2 demis de bière ou 6 cl d'alcool fort</li> </ul>
<b>Sel</b>		<b>limiter la consommation</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>préférer le sel iodé</li> <li>ne pas resaler avant de goûter</li> <li>réduire l'ajout de sel dans les eaux de cuisson</li> <li>limiter les fromages et les charcuteries les plus salés et les produits apéritifs salés</li> </ul>
<b>Activité physique</b>		<b>Au moins l'équivalent d'une demi-heure de marche rapide par jour</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>à intégrer dans la vie quotidienne (marcher, monter les escaliers, faire du vélo...)</li> </ul>

Figure 1 : Les 9 repères de consommation correspondants aux objectifs du PNNS (Hercberg, 2008)

Cependant, l'impact des campagnes d'information nutritionnelle sur la diminution de consommation de produits gras, salés, sucrés ne semble pas suffisant et la prévalence du surpoids et de l'obésité reste toujours élevée (Rokholm, 2010). Par ailleurs, l'expertise collective sur les comportements alimentaires réalisée par l'Inra en 2010 a souligné le fait que les messages nutritionnels et les campagnes d'information touchent principalement les populations déjà sensibles à ces questions (Etievant, 2010). C'est pourquoi il semble nécessaire de compléter les campagnes d'information nutritionnelle actuelles en adoptant une nouvelle approche en amont des consommations, par la mise en place d'actions visant à agir sur les déterminants des comportements alimentaires.

## 2 Le comportement alimentaire

### 2.1 Définition

Le comportement alimentaire est un phénomène complexe à définir et à observer. Il désigne l'ensemble des conduites d'un individu vis-à-vis de l'alimentation. Les comportements englobent aussi bien les actions qui concernent les actes d'achat, que les manières d'agir autour de la préparation, l'organisation des repas et les conduites individuelles au moment de la consommation (INRA, 2014). La prise alimentaire va se caractériser par la nature, la qualité, la diversité et la quantité des aliments consommés. Elle est la résultante de processus physiologiques, de décisions cognitives, de prédispositions génétiques et d'un contexte psychologique, socio-culturel et environnemental qui détermine notamment le choix des aliments, la structure et la rythmicité des repas (Etievant, 2010). Cet ensemble concourt à la réalisation d'une triple finalité :

- Energétique et nutritionnelle, assurant la couverture des besoins biologiques
- Hédonique, d'ordre psychologique, assurant la stabilité affective et émotionnelle
- Symbolique, d'ordre relationnel et culturel, assurant la socialisation et l'adhésion aux valeurs et aux traditions culturelles alimentaires

Dans la suite du document, les termes de « prise alimentaire », « choix alimentaire », « consommation alimentaire » et « comportement alimentaire » définiront des concepts proches qui *in fine* mènent à la consommation d'aliments et de boissons. Nous considérerons dans cette thèse uniquement les phases de choix et de consommation des aliments d'un individu, sans évaluer les phases d'approvisionnement et de préparation des aliments.

## **2.2 Les consommations alimentaires**

Les phases de prises alimentaires opposent une période de consommation et une période de jeûne (McGinnis, 2016). La consommation alimentaire est articulée autour de trois phases :

- Une phase pré-ingestive caractérisée par la sensation de faim
- Une phase prandiale correspondant à la période de consommation et au processus progressif de rassasiement
- Une phase postprandiale, caractérisée par l'état de satiété, dont la durée est variable

La régulation physiologique des apports alimentaires va s'effectuer sur la quantité d'aliments ingérés au cours d'un épisode de consommation, ce qui met en jeu le processus de rassasiement, et sur la durée de l'intervalle entre deux prises alimentaires, qui correspond à la période de satiété (Etievant, 2010). La consommation d'aliments et de boissons a pour objectif de subvenir aux besoins énergétiques et d'avoir un apport suffisant en nutriments. Une pyramide alimentaire (Figure 2) permet d'établir la nature et la fréquence des consommations alimentaires recommandées dans le cadre d'une alimentation équilibrée chez l'adulte bien portant. La composante d'activité physique fait aussi partie des recommandations car fait appel au concept de « nutrition » au sens large.

Les prises alimentaires restent massivement concentrées sur des plages horaires peu étalées (Larmet, 2002) et restent majoritairement prises en famille, à l'exception des repas du midi (Escalon, 2009). Il a été observé que près de 9 français sur 10 prennent les trois repas principaux quotidiennement (petit-déjeuner, déjeuner, dîner) et seulement 5% ont des prises hors repas principaux (Escalon, 2009).

# THE HEALTHY EATING PYRAMID

Department of Nutrition, Harvard School of Public Health

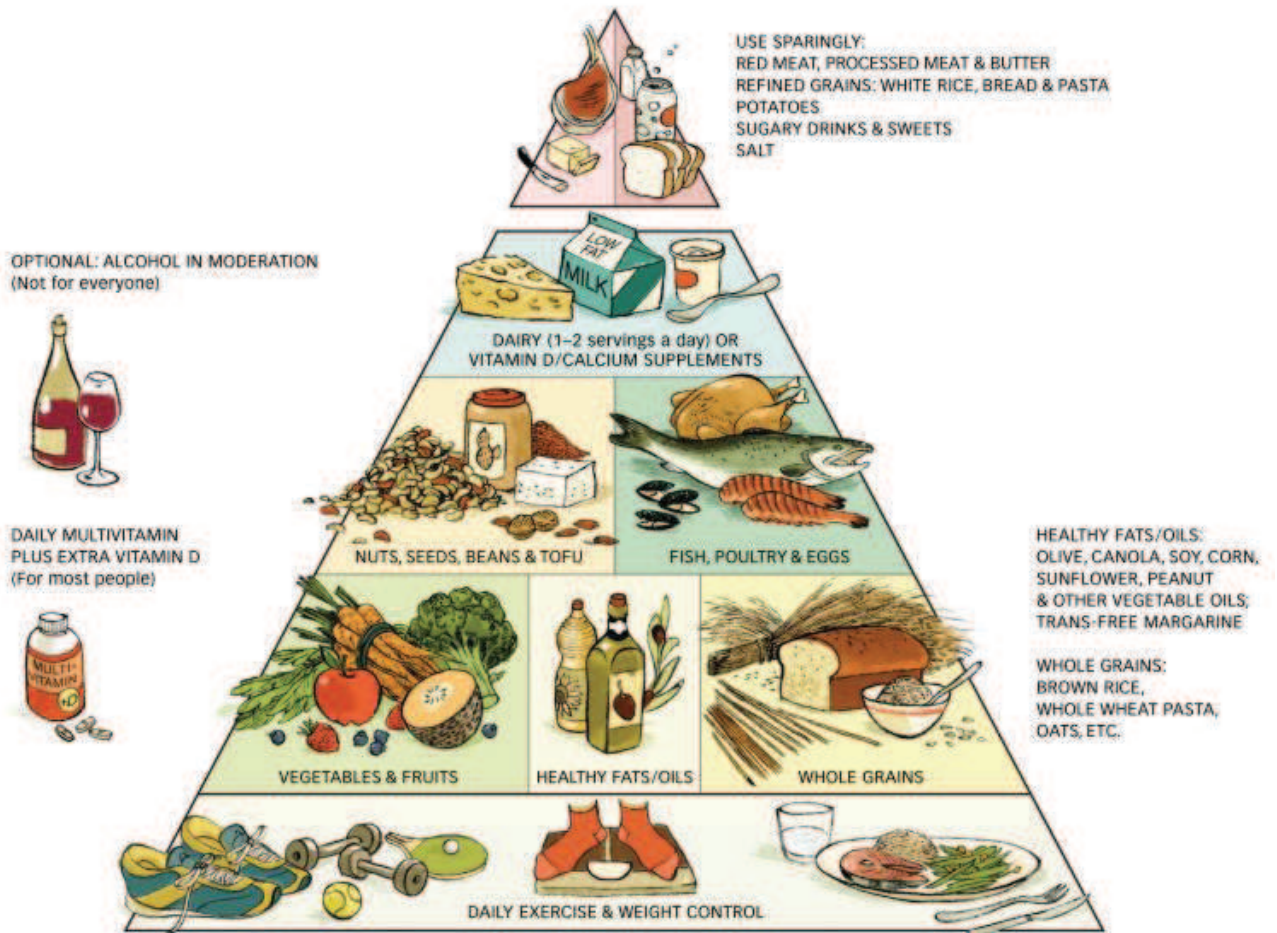
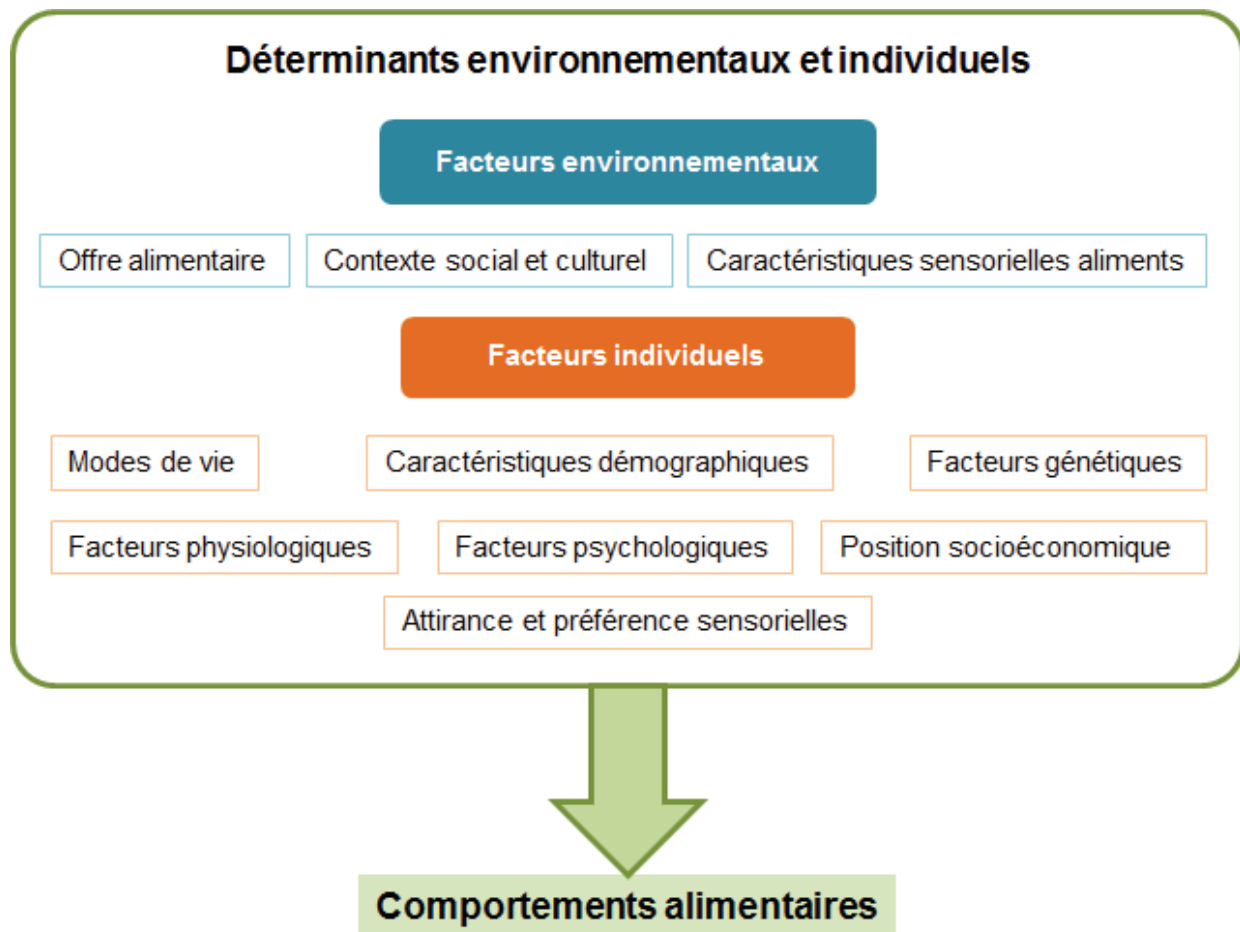


Figure 2 : Pyramide alimentaire « the healthy eating pyramid » (développée par le département de nutrition de l'école de santé publique d'Harvard)

## 3 Déterminants du comportement alimentaire : nouvel enjeu de santé publique

Le fait de s'alimenter est principalement géré par les signaux de faim et de satiété, mais ce que nous choisissons de manger, en quelle quantité et à quelle fréquence n'est pas uniquement influencé par les besoins physiologiques. De nombreux facteurs environnementaux et individuels vont intervenir et influencer nos comportements

alimentaires (Figure 3). Cette figure répertorie les facteurs individuels (démographiques, socioéconomiques, génétiques, physiologiques, psychologiques, etc.) et environnementaux (offre alimentaire, contexte, caractéristiques de l'aliment) qui vont influencer les choix alimentaires. Ces déterminants sont intégrés dans un réseau complexe (Booth, 2001) et doivent être considérés simultanément pour mieux comprendre leur impact sur les consommations.



**Figure 3** : Déterminants environnementaux et individuels des comportements alimentaires

Dans ces travaux nous n'avons pas considéré les facteurs environnementaux, bien qu'ils aient une forte influence sur l'alimentation et le poids. Nous les avons brièvement décrits, puis notre approche s'est focalisée sur les facteurs individuels associés au comportement alimentaire.



### 3.1 Déterminants environnementaux

« L'environnement alimentaire » réfère aux conditions dans lesquelles l'aliment est choisi et consommé (disponibilité alimentaire, interactions sociales, culture, etc.) indépendamment de l'aliment, alors que « l'environnement de l'aliment » se rapporte aux conditions dans lesquelles l'aliment est présenté et ses caractéristiques (emballage, portion, manière de présenter, prix, composition, etc.) (Wansink, 2004).

#### 3.1.1 Approvisionnement et offre alimentaire

L'environnement alimentaire comprend différents domaines : les modalités d'accès physique aux aliments, l'environnement réglementaire (politiques nutritionnelles menées à une échelle nationale, régionale ou plus locale) (Jones, 2007; Jones, 2010), l'univers symbolique alimentaire et l'univers médiatique alimentaire (Chaix, 2014). L'environnement alimentaire au sens large (Glanz, 2005) comprend ce qu'un individu trouve à son domicile, et au-delà, dans l'environnement géographique de sa résidence, dans d'autres lieux de vie majeurs tels que son école ou son lieu de travail, et dans les multiples lieux de mobilité traversés quotidiennement (Chaix, 2014).

L'accès physique aux aliments renvoie ici au mode d'acquisition des aliments. Ainsi, les choix alimentaires sont notamment déterminés par la proximité de diverses sources d'approvisionnement alimentaire (Popkin, 2005). Il a été observé que l'augmentation de la variété et de la disponibilité des aliments peut conduire à une surconsommation alimentaire (Rolls, 2007). De même, la multiplication des sources de produits alimentaires facilement accessibles est susceptible de stimuler la consommation et de favoriser le choix d'aliments faciles à consommer, ne demandant pas de préparation (Cohen, 2008), souvent de densité énergétique élevée (Popkin, 2005). Une récente étude a montré un lien positif entre la densité de restaurants fast-foods autour des trajectoires quotidiennes et la consommation de graisses saturées (Zenk, 2011). En revanche, une bonne accessibilité au supermarché ne semble pas associée à la consommation de fruits et légumes (Chaix, 2014).

Le prix des produits va également avoir un impact sur son achat et donc sa consommation. Des études menées en laboratoire ont ainsi montré que plus le prix d'un aliment augmente, plus sa consommation diminue (Epstein, 2006a; Epstein, 2006b; Epstein, 2007). De même il a été observé que la baisse du prix de fruits frais ou de produits pauvres en matières grasses dans des distributeurs augmente la vente de ces produits (French, 1997; French, 2003) et les baisses promotionnelles de prix sont également associées à une augmentation des achats et de la consommation (Chan, 2006; Neslin, 2009; Richards, 2009).



Concernant l'environnement réglementaire des aliments, l'offre alimentaire a fortement évolué ces dernières décennies avec de plus en plus d'aliments palatables ayant une forte attractivité sensorielle (Etievant, 2010). Ainsi, l'affichage nutritionnel fait partie des politiques proposées pour favoriser une alimentation saine (Inserm, 2014). Plusieurs études suggèrent que les allégations nutritionnelles et de santé sont lues et participent à la décision d'achat (Lafay, 2009; Leathwood, 2007; Williams, 2005) et encouragent des choix alimentaires de meilleure qualité nutritionnelle (Lafay, 2009). Cependant, la lecture de l'étiquetage dépend de nombreuses caractéristiques individuelles, notamment du niveau d'éducation (Escalon, 2009; Guilbert, 2002).

La publicité est également un déterminant du comportement alimentaire, supposée modifier les goûts et les préférences des consommateurs et servir de support à des stratégies de différenciation et de fidélisation aux marques (Bagwell, 2007). Chez les enfants, elle aurait un impact sur les choix alimentaires de produits denses et sur le développement de l'obésité, ce qui pose la question de la régulation des publicités (Soler, 2014).

### **3.1.2 Contexte de la consommation**

Plusieurs dimensions du contexte physique et social du repas vont stimuler ou limiter la prise alimentaire (de Castro, 1997; Hetherington, 2006; Higgs, 2016). Il a notamment été montré qu'un individu en présence d'une personne qui mange une grande quantité de nourriture va avoir tendance à consommer davantage que s'il était seul (Cruwys, 2015). Par ailleurs, une distraction telle que la télévision peut également mener à une surconsommation d'aliments (Chapman, 2012) alors qu'augmenter l'attention portée à l'aliment peut diminuer la quantité consommée (Wansink, 2007). L'environnement familial a également un impact sur l'apport alimentaire avec de fortes similitudes en termes d'apport énergétique et de consommations de macronutriments au sein du foyer (Feunekes, 1998; Perusse, 1988). Enfin, le jour de la semaine et la saison ont également une influence sur la taille des repas et les choix alimentaires réalisés (de Castro, 1987; de Castro, 1991).

### **3.1.3 Caractéristiques de l'aliment**

Les aliments ont différentes facettes : leurs propriétés nutritionnelles, leur état (qualité), la dimension informationnelle (marque, étiquetage des informations nutritionnelles, allégations nutritionnelles), et leur prix (McKinnon, 2009). Concernant les propriétés de l'aliment, la prise alimentaire est influencée par les qualités organoleptiques telles que l'aspect visuel, l'odeur, le goût et la texture qui déterminent la palatabilité de l'aliment, c'est-à-dire son caractère plaisant en bouche (Hyde, 1993). Les propriétés sensorielles déterminent donc son

appréciation, qui peut différer d'un individu à l'autre, mais il a été montré de manière générale, que plus la palatabilité d'un aliment augmente, plus la prise alimentaire est importante (Sorensen, 2003; Yeomans, 2004). Les caractères gras, salé et sucré des aliments sont des propriétés sensorielles qui contribuent fortement à augmenter la palatabilité (Mela, 1995; Mizushige, 2007; Sorensen, 2003; Yeomans, 2004).

## **3.2 Déterminants individuels**

### **3.2.1 Déterminants génétiques et biologiques**

L'homéostasie de la prise alimentaire est gérée par des signaux épisodiques et toniques (Halford, 2000). Les signaux épisodiques ont un effet à court terme et sont générés directement lors de la prise alimentaire. Ils incluent des signaux sensoriels générés avant et après la mise en bouche et des signaux déclenchés par le passage et l'absorption des nutriments dans le tractus gastro-intestinal (Badman, 2005). La majorité d'entre eux inhibent la prise alimentaire et signalent donc le rassasiement et la satiété (i.e. cholécystokinine, ghréline). Les signaux toniques ont plutôt un effet à long terme. Ils sont générés en réponse à l'état des réserves énergétiques, principalement les réserves du tissu adipeux et les principales hormones impliquées sont la leptine et l'insuline (Fried, 1991; Klok, 2007).

Parmi les facteurs individuels influençant les comportements alimentaires, la génétique et l'hérédité joue également un rôle. Les observations des études de jumeaux et des études familiales soutiennent que les facteurs génétiques contribuent à la variation de l'apport alimentaire et du comportement alimentaire. Des études ont ainsi montré une ressemblance entre les apports alimentaires des membres d'une même famille (Faith, 2004; Mitchell, 2003) ou entre jumeaux (Heitmann, 1999). Des travaux ont également étudié les traits psychologiques du comportement alimentaire en lien avec les facteurs génétiques et les résultats suggèrent qu'il pourrait exister une composante génétique commune à ces traits (de Castro, 2005; Neale, 2003; Provencher, 2005; Steinle, 2002; Tholin, 2005). Cependant, l'effet de l'environnement familial commun ne peut être exclu (Perusse, 1988).

Plus récemment, l'étude du génome avec l'approche « gène candidat », une approche a priori qui permet de choisir un gène potentiellement impliqué dans la physiopathologie d'un phénotype étudié, permet de tester l'association entre des variantes génétiques et le phénotype (Etievant, 2010). Ainsi des régions chromosomiques présentant un lien avec les traits du comportement alimentaire ont été identifiées mais n'ont pas été cartographiées (Bouchard, 2004; Cai, 2004; Lee, 1999; Steinle, 2002). Des études se sont intéressées aux gènes candidats liés aux neurotransmetteurs, aux neuropeptides et leurs transporteurs, ainsi

qu'aux récepteurs impliqués dans la régulation de la prise alimentaire (Aubert, 2000; Epstein, 2004; Herbeth, 2005; Loos, 2005). Récemment, les GWAS (Genome Wide Association Study) ont permis d'identifier de nouveaux gènes, notamment dans le phénotype de l'obésité, avec la découverte du FTO (FaT-mass Obesity-associated) comme facteur de risque de l'obésité (Dina, 2007; Frayling, 2007; Scuteri, 2007) associé à une diminution de la satiété (Wardle, 2008). Le gène MC4R a également été identifié, dont les mutations seraient responsables de formes monogéniques d'obésité sévère (Farooqi, 2002; Loos, 2005). Une récente étude a aussi mis en évidence des gènes particuliers codant pour le métabolisme des nutriments et de l'obésité associés aux apports en macronutriments (Tanaka, 2013).

Des différences interindividuelles dans la sensibilité à l'amertume déterminées génétiquement ont également été observées (Bartoshuk, 1994; Drewnowski, 2001c; Drewnowski, 2007) et influenceraient la perception des saveurs et les préférences alimentaires, mais les résultats divergent (Drewnowski, 2001b; Drewnowski, 2001c; Hayes, 2010). Les relations avec le statut pondéral sont également controversées (Bartoshuk, 2006; Tepper, 2008) et cette influence génétique seraient modulées par d'autres facteurs individuels (Etievant, 2010).

### **3.2.2 Déterminants socioéconomiques et démographiques**

En parallèle du critère de disponibilité et de l'accès physique de l'offre alimentaire, le consommateur choisit ses aliments en fonction de l'accès financier, donc de sa position socioéconomique, mesurée dans la majorité des études par l'éducation, le revenu et la profession et catégorie socioprofessionnelle (Krieger, 1997). Une littérature abondante a permis de mettre en évidence des gradients de consommations alimentaires selon la position socioéconomique des individus (Darmon, 2008; Drewnowski, 2005; Giskes, 2010; Irala-Estevéz, 2000). Ces variations peuvent être différentes selon les dimensions de l'alimentation considérées (apports nutritionnels, consommations alimentaires, profils alimentaires...), les indicateurs de position socioéconomique utilisés ou encore le contexte dans lequel l'étude a été conduite. De façon concordante avec les études conduites en Europe et dans les pays anglo-saxons, les informations issues des enquêtes nationales en France en population générale montrent donc que les consommations alimentaires des personnes se situant au niveau socioéconomique le plus faible sont généralement moins favorables à la santé que celles des personnes positionnées au plus haut niveau, surtout lorsque le niveau d'éducation est étudié (Inserm, 2014). Les personnes appartenant aux classes socioéconomiques moins favorisées ont notamment des consommations plus faibles de fruits, légumes, produits complets, poisson et des consommations plus élevées de produits céréaliers raffinés, matières grasses ajoutées, charcuterie, produits laitiers gras et

produits sucrés, comparés aux individus de classes sociales plus favorisées (Darmon, 2008; Mejean, 2016). En France, les analyses portant sur le score global d'adhésion aux recommandations du PNNS ont montré que le risque d'avoir un score PNNS-GS élevé était associé au niveau d'éducation et à la profession chez les femmes (Malon, 2010). Au-delà de la compréhension des inégalités sociales de santé en lien avec l'alimentation, l'analyse de variations des consommations alimentaires et des apports nutritionnels en population générale trouve son intérêt dans la perspective d'identifier des sous-groupes de la population à risques nutritionnels élevés. C'est en effet un élément clé pour aider à la mise en place de politiques de santé publique qui puissent cibler les groupes les plus vulnérables dans ce domaine (Castetbon, 2014b).

Il peut aussi exister d'importants effets des facteurs démographiques, tels que la génération, l'âge et le genre. Il a été observé que les comportements vis-à-vis de la nutrition et de la santé sont différents chez les hommes et les femmes. Les femmes vont avoir tendance à éviter les produits riches en matières grasses, privilégier les fruits et légumes et limiter le sel comparées aux hommes (Wardle, 2004). En France, un constat similaire a été observé : les femmes achètent davantage de fruits et de légumes et moins de viandes et d'alcools que les hommes (De Saint Pol, 2008). En termes d'énergie, il a été observé que les femmes consomment moins de calories que les hommes (O'Doherty, 1999). On peut supposer que les besoins physiologiques des hommes et des femmes diffèrent et influencent leurs choix alimentaires. D'un point de vue sociologique, il semblerait qu'il y ait de fortes croyances autour des aliments plutôt « masculins » et « virils » tels que la viande et l'alcool et des aliments plutôt « féminins » tels que les fruits et les légumes, le poissons et les produits sucrés (O'Doherty, 1999). La pression sociale telle que le « culte de la minceur » peut également influencer les comportements alimentaires en incitant aux régimes amincissants et pouvant aller jusqu'à créer des troubles du comportement alimentaire, particulièrement chez les femmes (Hesse-Biber, 2006).

Concernant l'âge, les jeunes ont davantage recours à des aliments transformés tandis que les plus âgés vont plutôt cuisiner les produits bruts (Lafay, 2009). Cependant, certains comportements alimentaires sont davantage liés à la force de l'habitude et donc aux générations plutôt qu'à l'âge lui-même (Recours, 2007). Enfin, des facteurs sociétaux vont influencer les comportements alimentaires tels que la religion et les pratiques culturelles. L'appartenance régionale semble toujours marquer les consommations alimentaires (Babayou, 1996; Grignon, 1986; Herpin, 1984) telle que la « France du beurre » qui se distingue de la « France de l'huile » malgré l'uniformisation de l'offre alimentaire à l'échelle nationale.

### **3.2.3 Déterminants psychologiques**

Les influences psychologiques sur le comportement alimentaire peuvent être de plusieurs ordres : les dispositions psychologiques relativement stables qui affectent la consommation, et les cognitions et émotions présentes à un moment donné à l'échelle d'une prise alimentaire, qui vont déterminer la taille et la fréquence des consommations (Etievant, 2010).

Parmi les dispositions psychologiques, la restriction cognitive, c'est-à-dire la tendance à limiter la prise alimentaire dans un but de contrôle pondéral (Tholin, 2005), est associée à un plus faible apport énergétique, une diminution de l'apport en lipides et glucides et une plus forte consommations d'aliments riches en nutriments tels que les légumes verts (Anschutz, 2009; de Castro, 1995; De Lauzon, 2004; Elfhag, 2008; Lluch, 2000; Olea Lopez, 2016). Récemment, la distinction entre « restriction flexible » et « restriction rigide » a été faite (Westenhoefer, 1999), désignant la première comme un contrôle permettant une meilleure réussite des régimes (Lejeune, 2003; Mattes, 2002) et ayant un potentiel rôle bénéfique (Savage, 2009; Westenhoefer, 2001; Westenhoefer, 2013), et la seconde comme une difficulté d'adaptation du comportement entraînant une dysrégulation énergétique (Westenhoefer, 1991; Westenhoefer, 1999; Westenhoefer, 2013). Une revue de la littérature portant sur la restriction cognitive en lien avec le statut pondéral rapporte des résultats divergents (Lowe, 2013). Malgré la qualité de l'alimentation qui paraît plus saine chez les sujets restreints, des études ont montré que les sujets restreints sur leur alimentation pourraient également avoir des phases de désinhibition qui pourraient mener à terme à une prise de poids (Hays, 2002; Hays, 2008; Savage, 2009; Schaumberg, 2016). La désinhibition, ou alimentation incontrôlée, deux concepts psychologiques relativement proches, sont définis comme la propension à perdre le contrôle lors de la prise alimentaire dans diverses circonstances (Angle, 2009; Stunkard, 1985). Cette perte de contrôle est associée à la consommation d'aliments riches en énergie (De Lauzon, 2004). On peut également mentionner l'impulsivité alimentaire qui est un concept proche se manifestant par une perte de contrôle associée à une tendance à l'excès alimentaire (Yeomans, 2008). La propension à manger sous le coup de l'émotion, appelée émotionnalité alimentaire, est également un trait individuel définissant la vulnérabilité à manger sous le coup des émotions négatives (Kaplan, 1957). Des associations ont été mises en évidence avec la consommation d'aliments à haute densité énergétique (Camilleri, 2014; De Lauzon, 2004; Elfhag, 2008).

Récemment, des théories psychologiques « positives » ou « adaptatives » ont vu le jour afin d'étudier les traits psychologiques pouvant prédire un contrôle du poids à long terme (Teixeira, 2015). Plusieurs facteurs ont été décrits : image de soi positive, motivation

autonome et auto-efficacité (Palmeira, 2010; Teixeira, 2010) et sont inversement associés à l'indice de masse corporelle (IMC) (Leong, 2012; Ovaskainen, 2015). Deux concepts ont également récemment émergé : l'alimentation intuitive (Tribole, 1995) et la pleine conscience (Kabat-Zinn, 2003). Le premier place l'écoute des signaux physiologiques de faim et de satiété comme élément central. Le deuxième invite à prendre conscience du moment et des processus de prise de décision, notamment celles relatives à l'acte alimentaire. Ils sont également inversement associés avec l'IMC (Camilleri, 2015; Camilleri, 2016). En revanche, leur influence sur les apports alimentaires n'a pas encore été étudiée bien qu'ils soient probablement associés à des profils alimentaires plus sains et de meilleure qualité nutritionnelle.

Les cognitions et émotions présentes à un moment donné ont une influence plus éphémère et affectent le rassasiement et/ou la satiété au moment de la prise alimentaire. En effet, lorsque l'on modifie volontairement l'horaire du repas ou l'information nutritionnelle du produit, les sujets vont adapter leur comportement alimentaire en fonction de l'heure supposée ou de l'apport énergétique indiqué (Brunstrom, 2012; Chapelot, 1995; Schachter, 1968; Wooley, 1972). Les émotions intenses, indépendamment de l'émotivité alimentaire, peuvent inhiber la consommation alimentaire (Macht, 2008) ou au contraire la stimuler (Macht, 2000). Enfin, le stress, un déterminant psychologique largement étudié, peut également inhiber ou stimuler l'apport alimentaire (Wallis, 2004). Dans ce derniers cas de figure, les personnes vont avoir tendance à aller vers les aliments très palatables ou « aliments de réconfort » (Yau, 2013).

### **3.2.4 Déterminants sensoriels**

Lors de la sélection des aliments, le goût est le premier critère de choix, devant le prix, la composition nutritionnelle et d'autres caractéristiques des produits (Glanz, 1998). Les déterminants sensoriels individuels ont un rôle central dans les comportements alimentaires et seront détaillés dans la prochaine partie.

## **4 Les déterminants sensoriels du comportement alimentaire**

La Figure 4 résume les différents aspects des déterminants sensoriels. La sensibilité au goût engendre la perception gustative qui permet l'appréciation hédonique du produit et la motivation à le consommer ou non, selon cette évaluation. La préférence alimentaire pour le

produit peut également se développer selon l'appréciation de celui-ci et influencer sa consommation.

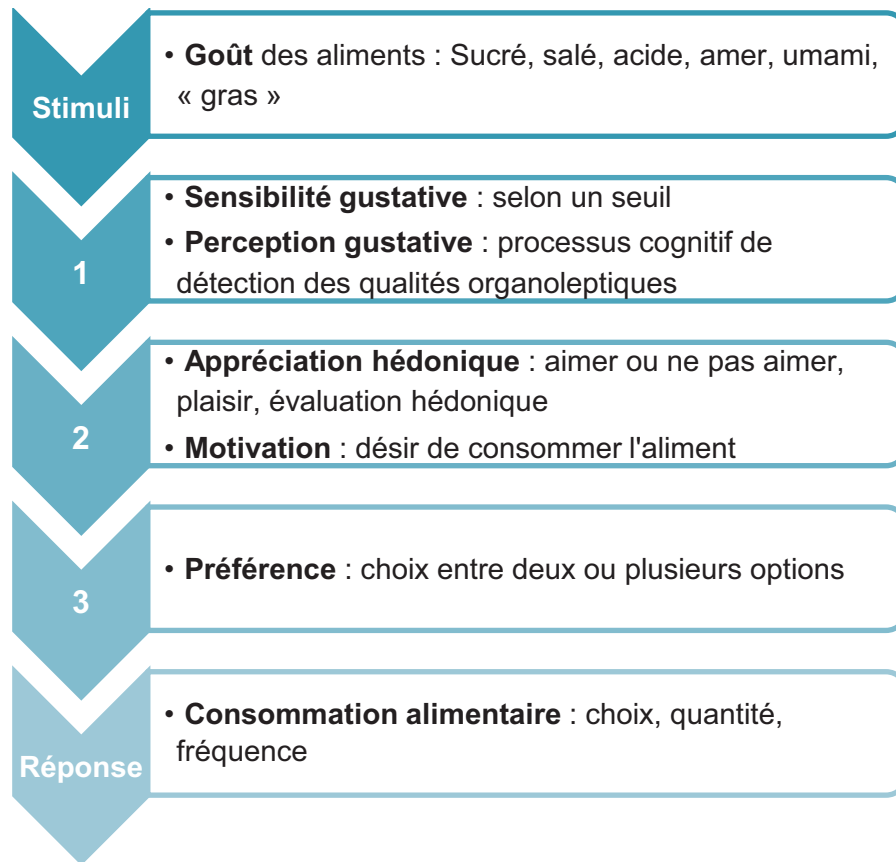


Figure 4 : Déterminants sensoriels de la consommation alimentaire, traduit et adapté (Cox, 2016)

## 4.1 Le goût

Le goût de l'aliment correspond à l'ensemble des messages sensoriels émanant de l'aliment et intégrés par le cerveau, dont notamment le message des récepteurs gustatifs situés dans la cavité orale (Bellisle, 2006). La notion de goût ne peut être circonscrite aux qualités organoleptiques de l'aliment et doit être considérée dans un cercle plus large qui englobe non seulement l'environnement immédiat du consommateur mais aussi son environnement et son expérience passés (Direction générale de l'alimentation, 2010).

Les humains peuvent distinguer cinq goûts : sucré, acide, amer, salé et umami (goût déclenché par le glutamate de sodium) (Kinnamon, 1996; Lindemann, 1996; Lindemann, 2002). Ces cinq saveurs primaires sont détectées par les papilles, formées de plusieurs bourgeons du goût, qui tapissent l'épithélium de la langue. Récemment, un sixième goût a été proposé : le goût du gras (Besnard, 2016; Mattes, 2011). Auparavant, les lipides étaient considérés comme ayant des propriétés de texture et olfactives, mais n'étaient pas détectés



par les bourgeons du goût, contrairement aux autres saveurs. Or, il a été mis en évidence que les acides gras seraient détectés, mais de nombreux travaux doivent être encore menés avant de conclure que le gras peut être considéré comme un goût (Besnard, 2016). Très récemment, des travaux ont montré que les polymères de glucose pouvaient également être détectés indépendamment des sucres simples (Lapis, 2014; Lapis, 2016), définissant le goût de l'amidon. Ces travaux doivent être également reconduits afin d'affirmer ou non l'existence de ce nouveau goût.

D'un point de vue évolutif, la fonction première du goût est de contrôler les substances ingérées par l'Homme, sur la nature et la qualité de l'aliment afin de décider de sa consommation ou de son rejet (Drayna, 2005). Le fait que les aliments riches en énergie soient attractifs et souvent consommés pourrait s'expliquer par un avantage hérité afin de survivre à une pénurie alimentaire (Nesse, 1997). En revanche, le fait que les aliments aux saveurs acides et/ou amers soient instinctivement rejetés proviendrait de leur association à des produits toxiques à éviter (Direction générale de l'alimentation, 2010; Tepper, 2008). Ainsi, le goût sucré et la sensation de gras prédisent une certaine valeur énergétique de l'aliment et le goût salé l'apport de minéraux (Apfelbaum, 2004).

## **4.2 Développement du goût et apprentissage alimentaire**

Les goûts de l'enfant sont tout d'abord influencés par les habitudes alimentaires de la mère lors de sa vie intra-utérine, (Birch, 1999; Schaal, 2000). A la naissance, le nourrisson va naturellement rejeter les saveurs amère et acide, alors qu'il va apprécier le sucré (Desor, 1975; Kajiura, 1992; Lipsitt, 1990; Nicklaus, 2005b). Ces réponses universelles correspondent à des réflexes gusto-faciaux (Ganchrow, 1983) et indiquent que le nouveau-né à terme peut manifester, dès les premières heures de vie, qu'il perçoit les saveurs (Ganchrow, 2003). L'attirance immédiate pour le sucré présenterait un caractère adaptatif puisqu'elle favoriserait l'acceptation du lait maternel qui contient des sucres (McDaniel, 1980; Pepino, 2006; Schwartz, 2010). L'appréciation pour la saveur salée va ensuite émerger entre le 3ème et le 6ème mois (Schwartz, 2009). Concernant l'umami, le nouveau-né réagit par des réflexes gusto-faciaux d'acceptation similaires à ceux observés pour la saveur sucrée (Bellisle, 1999). Enfin, la littérature n'a pas mis en évidence d'attirance particulière pour le gras chez le nourrisson (Mattes, 2005).

Dans les premières années de vie, les tendances « innées » vont être modulées par les expériences alimentaires (Birch, 1999; Nicklaus, 2005b). Hormis l'attirance innée pour le sucré chez le nourrisson, les autres préférences alimentaires vont être essentiellement acquises durant les premières années de vie (Schwartz, 2011). Il s'agit d'une période



cruciale, en particulier pour le développement d'habitudes alimentaires saines (Schwartz, 2011) qui déterminera fortement le répertoire alimentaire une fois adulte (Nicklaus, 2005a). Chez les jeunes enfants, l'attrait pour les aliments denses permet d'apaiser rapidement et durablement les sensations de faim, et le rejet de l'acidité et de l'amertume prémunit de l'ingestion d'aliments potentiellement toxiques (Birch, 1991; Gibson, 2003; Nicklaus, 2005a; Ventura, 2011). A la fin de la première année, les phénomènes de néophobie alimentaire (refus des aliments nouveaux) et de difficulté alimentaire (refus de nombreux aliments familiers) vont se développer (Birch, 1998; Dovey, 2008; Nicklaus, 2009) et rendre plus complexe l'élargissement de la gamme alimentaire de l'enfant, pouvant aller jusqu'à une diminution de la variété (Nicklaus, 2005c). Pour augmenter l'acceptation d'un aliment, la stratégie d'exposition répétée de l'aliment semble être une solution, notamment pour les légumes (Issanchou, 2015). L'acceptation d'un aliment inconnu peut également être augmentée si l'enfant est en présence d'un individu qui consomme cet aliment (Birch, 1980a), ou encore si un adulte montre du plaisir à le consommer (Rozin, 1990). Les pratiques parentales vont également avoir une influence dans cette acceptation (Birch, 1980b; Birch, 1982; Monnery-Patris, 2011; Wardle, 2003). Chez des enfants plus âgés, on retrouve une forte appréciation des féculents et des desserts et un rejet des légumes (C.R.E.A., 1990; Fischler, 1985; Michaud, 1997) qui semble toutefois s'atténuer avec l'âge (Ton Nu, 1996). Chez les adolescents et les adultes, aucune étude ne s'est intéressée à l'évolution de cet apprentissage alimentaire. On peut supposer que lorsque l'on considère ces populations, on ne parle plus d'apprentissage alimentaire mais plutôt d'évolution des préférences ou de l'attirance en considérant que la maturation physiologique du système gustatif est terminée (Nicklaus, 2005b).

### **4.3 Sensibilité et perception gustatives**

La perception gustative est un processus complexe et multimodal qui traite l'information sensorielle issue du goût, de l'olfaction et de la texture (Small, 2005). Elle intègre les signaux sensoriels propres à l'aliment, ceux de l'environnement, du contexte, ainsi que les connaissances, la motivation et les attentes du sujet (Etievant, 2010). Ainsi, la perception d'un aliment peut varier en fonction de l'environnement (contexte physique et humain), des caractéristiques de l'individu (expérience, caractéristiques génétiques, physiologiques, psychologiques, culturelles...) et des caractéristiques de l'aliment. Il existe également des différences interindividuelles dans la perception des aliments liées à différents facteurs (âge, sexe, IMC, statut PROP/PTC, etc.) (Stevens, 1996).

La sensibilité gustative est évaluée par des mesures de seuils de détection, concentrations minimales d'une substance sapide nécessaires pour déclencher une perception, ou par des mesures supraliminaire (au-dessus du seuil) (Nicklaus, 2005b). Comme décrit précédemment, le rejet de l'amertume est inné. Néanmoins, il existe des différences interindividuelles dans la sensibilité à l'amertume, déterminées génétiquement à l'aide du test 6-n-propylthiouracile (PROP/PTC) (Bartoshuk, 1994; Bartoshuk, 2006; Drewnowski, 2001a; Drewnowski, 2007; Kim, 2004; Tepper, 2008). Le PTC ou PROP est une molécule qui a un goût amer pour certaines personnes dites « sensibles » et n'a aucun goût pour d'autres dites « peu sensibles » (Bartoshuk, 1993). Ce test permet également d'identifier les sujets « super sensibles » qui seraient aussi plus sensibles aux autres stimuli, tels que le sucré (Bartoshuk, 1994; Tepper, 2008).

Concernant la sensibilité à l'amertume, l'abondante littérature chez les adultes a montré que les sujets « très sensibles » à l'amertume ont une plus grande sensibilité aux aliments amers comparés aux sujets « peu sensibles » (Tepper, 2014). Les sujets particulièrement « sensibles » éviteraient de consommer les légumes crucifères, les sucreries, les aliments épicés et les boissons alcoolisées, auraient une plus faible attirance pour le gras et consommeraient moins de matières grasses que les sujets « peu sensibles » (Hayes, 2007; Tepper, 1997; Tepper, 2008; Tepper, 2014). Certains travaux établissent un lien entre la sensibilité au PROP et les préférences pour les aliments amers (Drewnowski, 2001b; Drewnowski, 2001c), mais d'autres études n'observent pas de lien avec les préférences (Duffy, 2000; Jerzsa-Latta, 1990; Mattes, 1989) ni avec les consommations alimentaires habituelles (Drewnowski, 2007). Par ailleurs, la sensibilité au PROP, tout comme la sensibilité aux autres saveurs semblent diminuer avec l'âge (Bartoshuk, 1994).

Les substances acides peuvent être toxiques, c'est pourquoi les humains arrivent à les détecter à de faibles concentrations (Wooding, 2004). Cependant, il existe des variations interindividuelles de perception de l'acidité qui impactent les comportements alimentaires. En effet, de nombreuses classes de polyphénols, telles que celles contenues dans le thé, le café, les fruits foncés, le citron et le chocolat, qui ont des effets bénéfiques reconnus sur la santé (Tome-Carneiro, 2016; Tresserra-Rimbau, 2014), vont être davantage consommées chez les sujets peu sensibles à l'acidité (D'Archivio, 2007; Drewnowski, 2000a). Une faible sensibilité au gras et aux acides gras peut mener à une surconsommation de matières grasses et à une prise de poids (Stewart, 2010; Stewart, 2012). En revanche, la sensibilité au sucré semble indépendante de la consommation de produits sucrés (Drewnowski, 1991; Pepino, 2010; Salbe, 2004). Concernant le salé, il semblerait que le seuil de détection soit positivement corrélé à la consommation de sel (Piovesana, 2013).

Les seuils de perception du goût semblent varier en fonction de l'IMC. Ils seraient plus élevés pour l'amertume et l'acidité chez les sujets obèses, alors qu'il paraît plus faible pour le goût salé et inchangé pour le goût sucré (Donaldson, 2009). Cependant les résultats divergent et il n'y a pas de consensus à ce sujet comme cela est souligné dans la revue de la littérature de Tepper et coll. (Tepper, 2014).

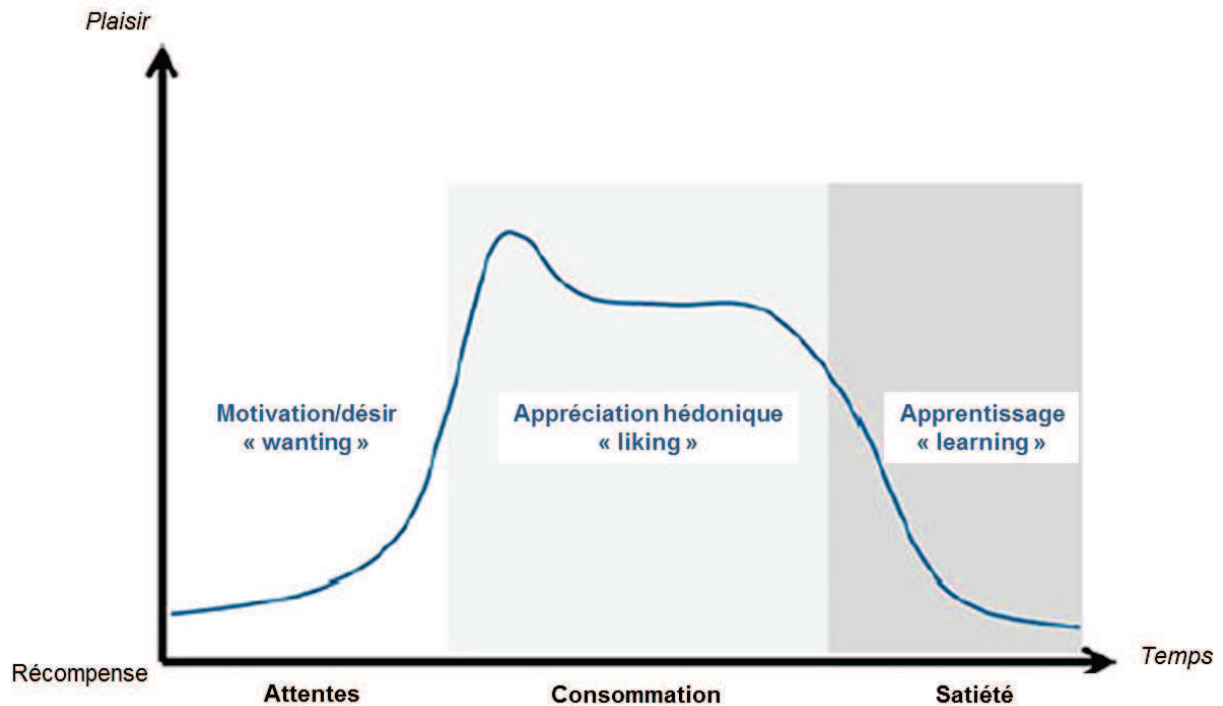
#### **4.4 Circuit de la récompense**

A l'échelle de la prise alimentaire, de nombreux processus sensoriels vont intervenir ponctuellement. Il y a notamment le désir (wanting) qui se réfère à l'anticipation de consommer un aliment qui apportera du plaisir, un concept très dépendant des besoins physiologiques et du contexte (Berridge, 2003; Finlayson, 2007b; Finlayson, 2008; Mela, 2001). Le « rassasiement sensoriel spécifique » (sensory specific satiety) joue également un rôle durant la prise alimentaire, et va ainsi engendrer la fin de la consommation de l'aliment lorsque le plaisir de le consommer devient nul (Rolls, 1986). On peut aussi nommer « l'alliesthésie », qui est un phénomène de variation du plaisir procuré par un aliment en fonction de l'état interne de l'organisme et qui peut faire varier la prise alimentaire (Cabanac, 1971). Pour exemple, les sensations olfactives et gustatives d'un aliment sucré sont agréables tant que l'aliment n'est pas consommé, puis deviennent répulsives après le repas, il s'agit du phénomène d'alliesthésie négative (Jiang, 2008).

Historiquement, le processus d'appréciation fut considéré comme décrivant un besoin d'énergie. Ainsi, dans un état d'épuisement d'énergie, la réponse hédonique d'un aliment fournissant des calories serait renforcée, et une fois le besoin comblé, l'appréciation hédonique diminuerait (Cabanac, 1989). Cependant, l'activation du circuit de récompense suite à la satisfaction d'un besoin nutritionnel n'explique pas l'ingestion d'aliments sans besoin homéostatique (Finlayson, 2007b).

Lors de la présentation d'un aliment, l'individu peut anticiper un plaisir ou un déplaisir en fonction des propriétés organoleptiques connues. Ces signaux sensoriels sont intégrés par des réseaux neuronaux qui affectent une valeur hédonique à l'aliment. Le plaisir issu de l'ingestion des aliments peut être considéré comme l'interaction entre le désir/la motivation (wanting) et l'appréciation hédonique (liking) (Berridge, 1996; Castro, 2014). L'appréciation et la motivation à manger vont généralement de pair lors d'une prise alimentaire, cependant un aliment peut être apprécié, mais l'envie de le consommer varie plus ponctuellement (Berridge, 1996).

Un cycle de plaisir (Figure 5), qui s'inscrit dans le circuit de la récompense, débute avec une phase d'anticipation qui est la motivation à manger l'aliment, puis une phase de consommation où il va y avoir l'appréciation hédonique de l'aliment, et enfin une phase de satiété où l'individu intègre cet épisode de plaisir généré par le circuit de la récompense (Berridge, 2009; Jager, 2014).



**Figure 5 :** Cycle de « plaisir alimentaire » associé au circuit de la récompense, traduit et adapté (Jager, 2014; Kringelbach, 2012)

Le circuit de la récompense met en jeu la libération de dopamine (Morton, 2006), d'opioïdes et d'endocannabinoïdes (Harrold, 2012; Jager, 2014). Une activation forte du circuit de la récompense par l'anticipation et l'ingestion d'aliments très palatables (agréables au goût) serait capable de supplanter l'homéostasie en levant l'inhibition des signaux toniques des neurones et ainsi stimuler la prise alimentaire (Berthoud, 2011). Inversement, les signaux homéostatiques peuvent moduler l'expérience hédonique. La perception d'un même aliment peut être différente suivant l'état physiologique du sujet ; il sera plus apprécié en état de faim (Finlayson, 2008; Rolls, 2012).

Il a également été mis en évidence que les systèmes neuronaux qui sous-tendent la récompense orosensorielle (plaisir) et la régulation homéostatique (faim) sont dissociables et interagissent (Finlayson, 2007a). La balance entre les signaux épisodiques et toniques, d'une part, et entre les processus homéostatiques et hédoniques d'autre part déterminent le choix de manger ou non, le choix des aliments et la quantité consommée. Cependant, cette

balance paraît asymétrique, ce qui pourrait notamment s'expliquer d'un point de vue évolutif. En effet, la protection contre la déplétion énergétique serait plus efficace que celle contre la pléthore (Berthoud, 2011; Morton, 2006) dans un contexte de subsistance alimentaire.

Ce plaisir ou déplaisir qu'un aliment va procurer lors de sa consommation va être intégré et mémorisé, et ainsi contribuer à l'attirance pour cet aliment ainsi qu'aux préférences.

## **4.5 Attirance et préférences**

L'attirance et les préférences sont déterminantes dans le choix des aliments. Elles interagissent avec de nombreux facteurs individuels et environnementaux afin de réaliser un choix alimentaire. L'attirance (« liking » en anglais) se définit comme l'appréciation hédonique d'un aliment, c'est-à-dire la sensation de plaisir ou de déplaisir apportée par l'aliment (Mela, 2001). Elle est généralement mesurée à l'aide d'une échelle d'intensité selon l'attractivité de l'aliment. Les termes « attirance » et « préférence » sont parfois utilisés de manière interchangeable, alors qu'une préférence (« preference » en anglais) se réfère davantage à l'expression d'un choix entre deux ou plusieurs propositions d'aliments dans un contexte donné, il y a une notion de comparaison.

Nous allons maintenant approfondir le concept au cœur de ce travail de thèse, l'attirance sensorielle ou « liking ». Dans ce travail, l'attirance sensorielle est le terme choisi pour l'évaluation hédonique. En effet, lorsqu'un individu aime ou n'aime pas un aliment, l'appréciation hédonique perçue va déterminer son attirance pour l'aliment ou le type d'aliment. Cette appréciation hédonique est particulièrement étudiée en industrie agro-alimentaire afin de comprendre et de déterminer le produit que les sujets vont aimer, vont préférer et ainsi avoir tendance à consommer. L'appréciation hédonique est généralement étudiée en laboratoire dans le cadre d'analyses sensorielles, sur des échantillons restreints et sélectionnés, donc difficilement extrapolables à la population générale. L'approche épidémiologique sur de larges populations, a été jusqu'à présent très rarement utilisée.

De plus, le terme « attirance sensorielle » a été privilégié car les données ont été récoltées à l'aide d'un questionnaire qui permet d'évaluer une attirance globale pour un goût ou une sensation. Bien que certains items du questionnaire portaient sur une préférence (un choix entre plusieurs possibilités) et que de façon vulgarisée, le terme préférence est souvent utilisé pour évoquer une « attirance » ou une « préférence », nous avons décidé d'utiliser le terme « attirance pour le gras, le salé et le sucré » dans cette thèse. Un individu peut ainsi avoir des niveaux d'attirance très différents ou similaires pour chacune des saveurs, mais

préférer plutôt des produits très gras ou peu salés. C'est cette première idée que nous avons voulu développer et étudier au travers de ces travaux de recherche.

## **5 Etude de l'attirance sensorielle**

De nombreuses études s'intéressent au développement des préférences alimentaires chez les enfants, leur impact sur l'alimentation et le statut pondéral. L'apprentissage et la diversification alimentaire sont des périodes clés dans le développement des préférences et vont avoir impact sur les préférences et le répertoire alimentaire de l'adulte (Nicklaus, 2004; Nicklaus, 2005b). Chez l'adulte, peu de travaux se sont intéressés à l'impact des préférences alimentaires et de l'attirance sensorielle sur l'alimentation. La littérature sur le sujet traite majoritairement de l'influence des préférences et de l'attirance sur les choix alimentaires immédiats et la consommation d'aliments spécifiques, et non de l'influence sur l'alimentation habituelle et du régime alimentaire des individus pris dans sa globalité. Concernant l'impact sur le statut pondéral, quelques travaux ont étudié le lien entre les préférences et l'IMC, mais le design est généralement transversal, ne permettant pas d'établir la causalité de la relation. Les deux seules études longitudinales disponibles sur le sujet ont rapporté des résultats divergents (Matsushita, 2009; Salbe, 2004).

### **5.1 Mesure de l'attirance sensorielle**

En recherche expérimentale, les tests hédoniques réalisés dans le cadre de « tests consommateur » ont pour objectif de mesurer la préférence pour un aliment et/ou le plaisir procuré par sa consommation. Le stimulus peut être une substance à goûter telle qu'une solution aqueuse (ex : eau avec différentes concentrations en sucre) ou un aliment (ex : gâteau avec différents teneurs en matières grasses), ou encore une question sur l'appréciation d'une saveur (ex : sucré, salé). Dans les deux premiers cas, le test inclut une phase de dégustation et dans le deuxième, cela peut-être sous forme de questionnaire auto-administré ou administré par un enquêteur. S'il s'agit d'une mesure de la préférence, l'individu choisit l'aliment ou la boisson qu'il préfère ou doit réaliser un classement. S'il s'agit d'une mesure de l'attirance, l'individu doit répondre sur une échelle d'intensité à quel point il apprécie ou non le stimulus (Meilgaard, 1999). Contrairement aux dégustations qui font appel au ressenti immédiat, la mesure de l'attirance par questionnaire fait appel à une représentation mentale de l'aliment et aux souvenirs associés à sa consommation (Drewnowski, 2000b).

Les deux méthodes, test ou questionnaire, présentent des limites et pour l'heure aucune méthode de référence n'a été établie. Lors des tests, la mesure de l'attrance pour une saveur est très dépendante de l'aliment ou de la boisson, et en changeant de matrice, les concentrations préférées peuvent différer (Drewnowski, 1989; Mela, 1991b; Shepherd, 1987). La variabilité de l'attrance peut donc s'expliquer par une différence de perception en fonction de la matrice plutôt qu'une différence de concentration perçue (Hayes, 2008; Mela, 1990). Le contexte dans lequel les tests sont effectués (conditions réelles ou laboratoire) peut également influencer les réponses, préconisant davantage d'études en conditions réelles (Boutrolle, 2007; Meiselman, 1992). Ces tests sont des outils standards dans le domaine de l'évaluation sensorielle. Cependant, la taille des échantillons est une limite importante de ces études, ne permettant pas d'extrapoler les résultats à la population générale.

Le questionnaire, contrairement aux méthodes expérimentales, permet de recueillir des données sur de larges échantillons, sans les contraintes et les limites des études en laboratoire (nombre d'individus, homogénéité de l'échantillon, variété des gammes d'aliments, etc.). Il permet d'évaluer, dans un contexte standardisé, l'attrance pour une sensation ou un goût, indépendamment de la matrice à l'aide de questions sur plusieurs aliments et boissons référant à une même saveur. Ainsi, dans l'objectif d'évaluer l'attrance sensorielle en épidémiologie sur de larges populations, le questionnaire s'impose de manière complémentaire aux méthodes traditionnelles. La majorité des études utilise l'évaluation par tests sensoriels mais d'autres études ont déjà estimé l'attrance ou les préférences à l'aide de questions portant sur le niveau d'assaisonnement préféré (ajout de matières grasses, sucre ou sel) (Ledikwe, 2007; Leshem, 1998; Mennella, 2005) ou avec des questions évaluant l'attrance pour des aliments sucrés, salés, gras-sucrés et/ou gras-salés (Beauchamp, 1990a; Duffy, 2000; Hashimoto, 2008; Keskitalo, 2007; Lahteenmaki, 1995; Stein, 1996; Verd, 2010) ou plus directement, en demandant si l'individu apprécie une saveur (gras, sucré) (Matsushita, 2009). Cependant, une question portant sur le niveau d'assaisonnement préféré ne mesure pas la même notion qu'une question portant sur l'évaluation hédonique d'un aliment. Pour être représentatif d'une attrance pour une sensation ou un goût, il paraît pertinent de combiner plusieurs types de questions évaluant différents concepts associés à une même saveur, indépendamment des aliments et des boissons (Deglaire, 2011). Afin de répondre à cet objectif, le projet EpiPref (Epidémiologie des Préférences) a été lancé en 2008 dont l'une des finalités était de développer et valider un questionnaire permettant d'évaluer l'attrance sensorielle dans sa globalité à travers plusieurs types de questions.

La mesure de l'attrance par questionnaire est basée sur le souvenir d'apprécier un aliment ou une saveur en particulier et le niveau d'appréciation de celui-ci, ce qui diffère de la



mesure de l'attirance effectuée par des tests sensoriels qui vont évaluer le ressenti immédiat. Ainsi, la réponse issue du souvenir peut être influencée par d'autres facteurs externes (De Graaf, 2005) comparée à une mesure objective. En effet, l'étude des corrélations entre l'attirance déclarée par questionnaire et l'attirance mesurée par tests sensoriels pour la sensation de gras et les goûts salé et sucré réalisée à l'aide des outils développés durant le projet EpiPref met en évidence que l'attirance déclarée et mesurée sont corrélées de façon satisfaisante pour les goûts sucré ( $r=0,49$ ,  $P<0,001$ ) et salé ( $r=0,44$ ,  $P<0,001$ ) et un peu moins pour la sensation de gras ( $r=0,24$ ,  $P<0,001$ ) (Deglaire, 2011). Plusieurs hypothèses ont été émises afin d'expliquer de telles différences de résultats, dont celle des nombreux biais dus à l'aspect déclaratif du questionnaire. Il paraît donc nécessaire de les identifier afin de mieux cerner ce que l'on mesure et d'améliorer l'outil. L'un de ces biais, peu pris en compte dans le domaine de la nutrition, est le biais de désirabilité sociale (Crowne, 1960). Selon Crowne et Marlowe, il se définit comme le fait de vouloir se présenter sous un jour favorable, en fonction des normes sociales. Ce processus cognitif peut s'exercer de façon implicite, sans que l'on en ait conscience, ou au contraire être le résultat d'une volonté consciente de manipuler son image aux yeux des autres (Crowne, 1960; Tournois, 2000).

Le biais de désirabilité sociale est un biais de classement qui peut potentiellement contribuer à expliquer les faibles corrélations entre les tests d'attirance sensorielle qui évaluent une attirance mesurée et les questionnaires qui évaluent une attirance déclarée. Les nutriments tels que les lipides, les glucides simples et le sodium font l'objet de recommandations nutritionnelles ce qui peut influencer les sujets dans leurs réponses, de manière consciente ou non. Ainsi, nous supposons que les sujets présentant un fort niveau de désirabilité sociale vont avoir tendance à répondre en fonction des normes sociales et non en fonction de leur réelle attirance pour l'aliment ou la saveur. Étudier l'influence de ce biais sur la mesure des préférences pourrait donner des pistes d'amélioration des outils de mesure de l'attirance mais aussi de le prendre en compte comme variable d'ajustement ou de stratification dans les analyses statistiques.

## **5.2 Attirance sensorielle et consommations alimentaires**

Dans ce travail, nous nous sommes focalisés sur l'attirance pour le gras, le salé et le sucré car ces goûts et sensations contribuent majoritairement à la palatabilité et au plaisir (Cordain, 2005; Mela, 1991a). Une forte attirance pour ces sensations peut potentiellement expliquer pourquoi les nutriments correspondants (lipides, sel et sucres simples) sont souvent surconsommés au-delà des besoins et des recommandations (Blundell, 2004;



Castetbon, 2009; Gaillard, 2008). Il a été proposé que l'attirance plus ou moins prononcée d'un individu pour le gras, le sucré ou le salé permet d'expliquer en partie ses choix alimentaires (Drewnowski, 1999a). Drewnowski et Hann ont d'ailleurs proposé que l'attirance sensorielle et sa mesure dans les études épidémiologiques pourrait être envisagée comme une alternative à la collecte de données de consommations alimentaires (Drewnowski, 1999a).

Des travaux, majoritairement expérimentaux, ont étudié l'association entre l'attirance ou les préférences et les consommations alimentaires. Concernant l'attirance pour le gras, les propriétés organoleptiques des lipides contribuent fortement au plaisir associé à leur consommation pouvant mener à leur surconsommation (Drewnowski, 1997b; Mela, 1991a). De nombreuses études menées en laboratoire ont mis en évidence que l'attirance pour le gras est associée à une consommation de lipides et d'aliments riches en graisses (Cooling, 1998; Drewnowski, 1999a; Drewnowski, 2000b; Duffy, 2007; Duffy, 2009; Lanfer, 2012; Ledikwe, 2007; Raynor, 2004). L'attirance pour le sucré est corrélée avec la consommation d'alcool, en observant une forte préférence pour le sucré chez les sujets alcooliques (Kampov-Polevoy, 1999; Krahn, 2006). Elle est également associée à des apports plus élevés en sucres ajoutés et à la consommation d'aliments sucrés (Duffy, 2003; Holt, 2000) ainsi qu'à la propension à consommer des produits sucrés, chez les sujets ayant dans changements d'humeurs (Kampov-Polevoy, 2006). Concernant l'attirance pour le salé, les résultats divergent. Elle semble être corrélée avec la consommation d'aliments salés et gras-salés, évalués par questionnaires (Choong, 2012) suggérant que l'attirance pour le salé reflète les apports habituels en sodium (Zhang, 2011) alors qu'aucune association n'a été mise en évidence dans les études expérimentales (Drewnowski, 1996; Lucas, 2011).

La majorité des résultats cités sont issus d'études menées en laboratoire sur de petits échantillons très sélectionnés (uniquement des femmes ou des sujets âgés) donc difficilement extrapolables à la population générale. Des études observationnelles ont collecté par questionnaire des données d'attirance, de préférence et de consommation sur des échantillons plus importants, permettant d'étudier de nombreuses corrélations et associations entre l'attirance et une grande diversité d'aliments (Drewnowski, 1999a; Drewnowski, 2000b; Mejean, 2014a; Nagata, 1998). Les travaux de Drewnowski et coll. ont mis en évidence des corrélations importantes entre l'appréciation individuelle des aliments et leurs consommations (Drewnowski, 1999a; Drewnowski, 2000b). En revanche, une autre étude a montré peu de différences de consommation selon l'attirance, en croisant les consommations avec les réponses aux questions (s'ils aimaient les aliments gras, sucrés, salés : oui/non) (Nagata, 1998). En France, les travaux de notre équipe ont mis en évidence des associations entre l'attirance forte pour le gras et des profils alimentaires défavorables

(Mejean, 2014a). Les individus ayant une forte attirance pour le gras consomment davantage d'aliments riches en matières grasses, en sucres simples et en sodium au détriment d'aliments bénéfiques pour la santé tels que les fruits, les légumes, le poisson et les matières grasses végétales. De plus, les individus ayant une forte attirance pour le gras-salé présentaient des profils alimentaires moins favorables à la santé que ceux qui préfèrent le gras-sucré (apport énergétique, consommations en lipides et boissons alcoolisées plus élevées et consommations de fruits et légumes plus faibles) (Mejean, 2014a). Des analyses non publiées sur l'attirance pour le sucré et le salé ont montré des résultats similaires, mais moins marqués que l'attirance pour le gras, avec des consommations alimentaires plus défavorables à la santé chez les individus fortement attirés par le sucré ou le salé (Mejean, 2015).

### **5.3 Attirance sensorielle et statut pondéral**

De nombreuses études se sont intéressées à l'association entre l'attirance sensorielle et l'IMC. Concernant l'attirance pour le gras, la majorité des travaux ont montré une relation positive avec l'IMC (Bartoshuk, 2006; Cox, 2016; Deglaire, 2015; Drewnowski, 1985; Duffy, 2007; Duffy, 2009; Lanfer, 2012; Mela, 1991b; Nakamura, 2001; Ricketts, 1997) alors que trois études n'ont pas mis en évidence d'association (Cox, 1998; Drewnowski, 1991; Keskitalo, 2008). Quant à l'attirance pour le salé et celle pour le sucré, les résultats divergent davantage. Aucune différence d'attirance pour le sucré n'a été mise en évidence selon l'IMC (Deglaire, 2015; Drewnowski, 1991; Duffy, 2007; Grinker, 1978; Thompson, 1977) alors qu'une étude a mis en évidence une association positive entre la préférence pour le sucré et l'obésité (Mizuta, 2008) et enfin une dernière étude a montré que les sujets minces préféraient davantage le sucre (Cox, 1999). En revanche, l'attirance pour les sucres tels que le fructose, naturellement présent dans certains aliments, est inversement associée avec l'IMC (Deglaire, 2015). Pour l'attirance pour le salé, certains travaux mettent en évidence aucune association (Choong, 2012; Cox, 1999; Malcolm, 1980; Pal, 2013), alors que d'autres études montrent une association positive (Cox, 1998; Deglaire, 2015; Hashimoto, 2008) ou inverse (Donaldson, 2009).

Cependant, toutes ces études étant transversales, elles ne permettent pas d'établir de lien causal entre l'attirance et le statut pondéral. On peut supposer que l'attirance conditionne les consommations et donc le poids, de manière synthétique et simplifiée, mais également que les consommations et le poids influencent l'attirance sensorielle. Pour valider l'hypothèse de causalité, seules deux études ont évalué de manière prospective l'effet de l'attirance sensorielle sur l'IMC (Matsushita, 2009; Salbe, 2004). La première s'est intéressée à

l'attirance pour le gras-sucré et a montré une influence positive sur la prise de poids à 5 ans chez les indiens Pima, mais cette relation était non significative chez les individus « blancs » (Salbe, 2004). La seconde a montré dans une population japonaise une association positive entre l'attirance pour le sucré et une prise de poids à 10 ans, mais aucun résultat avec l'attirance pour le gras (Matsushita, 2009). Ces études présentent de nombreuses limites (mesure de l'attirance peu fiable, taille de l'échantillon) qui ne permettent pas de conclure sur l'influence de l'attirance sensorielle sur le statut pondéral. Par ailleurs, aucune étude n'a encore considéré l'effet médiateur de la consommation dans la relation entre l'attirance sensorielle et le poids. Il faut aussi noter que les diverses caractéristiques individuelles influençant les comportements alimentaires et le statut pondéral n'ont pas été prises en compte dans ces études. Une étude globale des caractéristiques individuelles, des préférences et des consommations alimentaires pourrait permettre de mieux comprendre l'impact de l'appréciation hédonique des aliments sur les comportements alimentaires et le poids.

## **5.4 Attirance sensorielle et caractéristiques individuelles**

Peu de travaux se sont intéressés aux relations entre les caractéristiques individuelles et l'attirance sensorielle pour le gras, le salé ou le sucré alors que l'influence des déterminants individuels sur les consommations et le statut pondéral a été largement décrite dans la littérature. De plus, il est nécessaire d'identifier les facteurs individuels associés à l'attirance sensorielle pour le gras, le salé et le sucré afin de les considérer comme potentiels facteurs de confusion dans la chaîne causale reliant attirance, consommations alimentaires et statut pondéral.

### *Caractéristiques démographiques*

Concernant l'attirance pour la sensation de gras, Drewnowski et coll. ont suggéré que l'attirance pour les produits gras est un trait universel de l'espèce humaine (Drewnowski, 1997b; Drewnowski, 2010). A l'heure actuelle, aucune différence en fonction du sexe ou de l'âge n'a été observée chez les adultes. En revanche, des différences démographiques ont été mises en évidence concernant l'attirance pour le sucré et le salé. Il a été montré que la préférence pour le salé est plus élevée chez les enfants comparés aux adultes, et chez les femmes par rapport aux hommes (Verma, 2007). Une étude a montré qu'elle restait relativement stable à l'âge adulte (Drewnowski, 1996) alors qu'une autre a mis en évidence une plus forte attirance pour le salé chez les sujets âgés (Zallen, 1990). La différence d'attirance pour le salé en fonction du sexe présente chez les adultes ne se retrouve pas chez les enfants (Mennella, 2014), suggérant que les hormones sexuelles entrent en jeu

dans l'attirance pour le goût salé (Verma, 2007). Quant au goût sucré, l'attirance est innée chez le nouveau-né (Nicklaus, 2005b), elle est très forte durant l'enfance, décline durant l'adolescence, jusqu'à l'âge adulte où l'individu a une attirance alors modérée (Beauchamp, 1990b; De Graaf, 1999; Desor, 1987; Drewnowski, 1989). Il a été suggéré que les préférences des enfants pour le sucre pourraient être expliquées par les besoins énergétiques relativement plus élevés dans l'enfance et l'adolescence (De Graaf, 1999). D'autres études ont montré que l'attirance pour le sucré peut de nouveau augmenter chez les sujets âgés (De Jong, 1996; Kozłowska, 2003; Mojet, 2003). De plus, elle semble être plus prononcée chez les hommes que chez les femmes (Conner, 1988; Enns, 1979) de même chez les garçons comparés aux filles (Mennella, 2014).

### *Caractéristiques psychologiques liées à l'alimentation*

L'attirance sensorielle est aussi associée à des caractéristiques psychologiques liées à l'alimentation. Concernant la restriction cognitive, les résultats divergent. Une forte attirance pour le gras est associée à une faible restriction cognitive chez les sujets obèses (Elfhag, 2006) alors que d'autres études n'observent pas de différence selon le niveau de restriction (Keskitalo, 2008; Lahteenmaki, 1995; Tuorila, 2001). Certains travaux mettent en évidence une relation positive en population générale entre la restriction cognitive et l'attirance pour les aliments riches en énergie (Houben, 2010) et palatables (Houben, 2012) ainsi qu'une préférence pour du pop-corn gras-salé (Kanarek, 1995) et des aliments gras (Habhab, 2009). Par ailleurs, la présentation de stimuli très palatables semble augmenter l'attirance pour la pizza chez les sujets restreints (Fedoroff, 1997). Jusqu'à présent, aucune association entre le niveau de restriction et l'attirance pour le sucré n'a été mise en évidence (Lahteenmaki, 1995). En revanche, la pratique de régimes amincissants, qui peut être considérée comme une forme de restriction, semble impacter l'attirance pour le sucré. Les sujets pratiquant des régimes depuis de nombreuses années semblent avoir une moindre attirance pour le sucré (Esses, 1984; Kleifield, 1991). Quant à l'alimentation incontrôlée, elle est généralement associée à une plus forte attirance pour le gras (Keskitalo, 2008; Lahteenmaki, 1995) et le sucré (Lahteenmaki, 1995) de même que l'émotivité alimentaire avec l'attirance pour les aliments gras-sucrés (Keskitalo, 2008). Concernant l'attirance pour le salé, aucune étude n'a étudié le lien avec les caractéristiques psychologiques liées à l'alimentation.

### *Modes de vie et état de santé*

Concernant le tabagisme, il a été mis en évidence que l'attirance pour le sucré et l'attirance pour le gras seraient plus faibles chez les fumeurs (Grunberg, 1982; Perkins, 1990; Pomerleau, 1991). La consommation d'alcool a également été associée à l'attirance pour le

sucré, avec une plus forte attirance chez les sujets alcooliques (Kampov-Polevoy, 1999; Kampov-Polevoy, 2001), chez les femmes ayant des antécédents familiaux d'alcoolisme (Pepino, 2007) et une forte préférence pour le sucré serait également associée à un facteur de risque génétique d'alcoolisme (Kampov-Polevoy, 2004). Par ailleurs, les enfants de parents alcooliques seraient en revanche, moins attirés par le salé (Sandstrom, 2003).

Il a également été mis en évidence que l'attirance sensorielle serait associée à différents indicateurs de l'état de santé. En effet, l'attirance pour le gras est associée à un poids et une pression artérielle élevés chez les femmes (Duffy, 2009) ainsi qu'à un tour de taille plus élevé (Duffy, 2007). L'attirance pour le salé est plus forte chez des individus souffrant d'insuffisance cardiaque (de Souza, 2012) et elle est associée à un risque de cancer de l'estomac plus élevé (Zhang, 2011) et à un risque de mortalité par accident vasculaire cérébral plus élevé (Ikehara, 2012). En revanche, l'attirance pour le sucré ne varie pas chez des individus atteints de diabète de type 2 comparés à des sujets sains, probablement lié au fait que les diabétiques ont accès à de nombreuses alternatives édulcorées permettant de consommer des aliments au goût sucré (Tepper, 1996). Enfin, des variations d'attirance pour le salé ont été observées chez les femmes selon la période du cycle menstruel (Frye, 1994; Verma, 2005). En effet, les femmes semblent avoir une attirance pour le salé plus accrue lors de la phase lutéale du cycle, comparée aux autres phases.

La majorité de ces résultats sur les relations entre caractéristiques individuelles et attirance pour le gras, le salé ou le sucré, issue d'études menées en laboratoire dans le cadre de tests sensoriels sont difficilement extrapolables à la population générale. Il est donc nécessaire de reproduire ce type d'études sur de larges populations avec des profils individuels variés afin de valider ces résultats. Par ailleurs, seulement quelques caractéristiques individuelles ont été étudiées. D'autres facteurs tels que le statut socioéconomique, qui a été largement étudié en lien avec l'alimentation et le statut pondéral, pourraient également être associés à l'attirance sensorielle.

## **5.5 Proposition d'un cadre conceptuel établi *a priori***

Etudier simultanément les relations entre l'attirance sensorielle, les autres déterminants individuels, les consommations alimentaires et le statut pondéral avec une approche épidémiologique, permettrait de comprendre leurs effets relatifs sur les comportements alimentaires et l'état nutritionnel.

A partir de la revue scientifique présentée précédemment et plus particulièrement des cadres conceptuels proposés dans la littérature sur les déterminants sensoriels (Drewnowski,

1997a; Mela, 1996; Mela, 2001; Mela, 2006; Shepherd, 1988; Ventura, 2013), nous avons identifié les facteurs potentiels pouvant influencer les consommations alimentaires et le statut pondéral des adultes. Les relations entre les déterminants individuels et leurs effets sur l'alimentation sont complexes. Pour une meilleure compréhension, nous proposons donc un cadre conceptuel, qui synthétise l'interaction entre les caractéristiques démographiques, psychologiques, socioéconomiques, les modes de vie et l'attrance sensorielle pouvant influencer l'alimentation et par conséquent le statut pondéral (Figure 6).

Dans ces travaux nous n'avons pas considéré les facteurs environnementaux, bien qu'ils aient également une forte influence sur l'alimentation et le poids. Notre approche a consisté à évaluer le rôle relatif des facteurs individuels du comportement alimentaire et du statut pondéral.

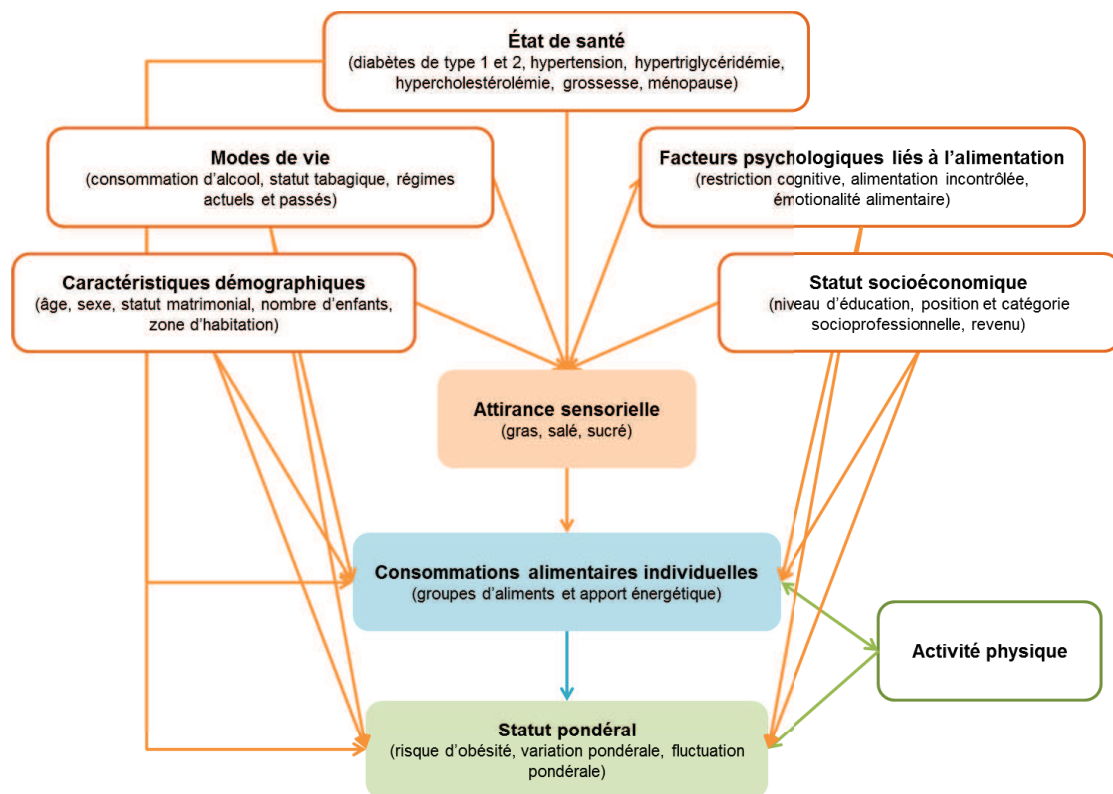


Figure 6 : Cadre conceptuel causal des déterminants individuels des consommations alimentaires et du statut pondéral, proposé à priori

# Objectifs

---

Cette étude s'intéresse à l'attirance sensorielle pour le gras, le salé et le sucré, et plus particulièrement à son influence sur l'alimentation et le statut pondéral d'adultes en France. Il s'agit de décrire les profils d'individus présentant une forte attirance pour le gras, le salé et le sucré, puis d'évaluer l'influence de l'attirance sur le risque d'obésité, et le rôle médiateur de l'alimentation dans cette relation. Enfin, il s'agit d'évaluer le rôle relatif des déterminants individuels du comportement alimentaire (sensoriels, psychologiques, démographiques, socioéconomiques et les modes de vie) sur les consommations et le statut pondéral.

Les objectifs de recherche étaient les suivants :

## *Objectif général*

Etudier l'association de l'attirance sensorielle pour le gras, le salé et le sucré et les caractéristiques individuelles, et évaluer son influence sur les consommations alimentaires et le statut pondéral.

## *Objectifs spécifiques*

- Identifier les caractéristiques individuelles démographiques, socioéconomiques, psychologiques, de mode de vie et de santé associées à l'attirance pour le gras, le salé et le sucré.
- Évaluer l'association entre l'attirance sensorielle pour le gras, le salé et le sucré et le risque prospectif d'obésité, et l'effet médiateur des consommations alimentaires
- Établir et valider un cadre conceptuel causal décrivant les relations entre les déterminants sensoriels, psychologiques, démographiques, socioéconomiques, les modes de vie, les consommations alimentaires, l'activité physique et la variation de poids, et évaluer le rôle relatif de chaque déterminant



# Méthodes

---

## 1 Population d'étude : la cohorte NutriNet-Santé

### 1.1 Présentation



Les travaux de cette thèse ont été menés sur les données issues de la cohorte NutriNet-Santé. L'étude NutriNet-Santé est une cohorte prospective d'observation sur Internet portant sur une large population d'adultes, les « Nutrinautes », suivis pour une période d'au moins 10 ans. Elle a été lancée en Mai 2009, lors d'une vaste campagne multimédia grand public relayée par de multiples canaux professionnels (médecins, pharmaciens) permettant d'initier le recrutement des participants volontaires, avec l'objectif d'atteindre 300 000 sujets inclus. Il s'agit d'une cohorte dynamique dont le recrutement se poursuit à l'heure actuelle par le biais de nouvelles campagnes et d'une communication continue sur les résultats de l'étude auprès des médias, via les réseaux sociaux et sur le site Internet de l'étude.

Les objectifs de l'étude NutriNet-Santé sont :

- Etudier les comportements alimentaires et leurs déterminants
- Etudier les relations entre les apports en nutriments et aliments, les comportements alimentaires et l'incidence de pathologies chroniques telles que les cancers, les maladies cardiovasculaires, l'obésité, le diabète de type 2, l'hypertension artérielle, les dyslipidémies, le syndrome métabolique et la mortalité
- Evaluer l'impact de campagnes ou d'actions de santé publique

Les critères d'inclusion dans la cohorte sont les suivants : être âgé d'au moins 18 ans, disposer d'une connexion Internet et d'une adresse mail, et remplir le « kit d'inclusion » dont le contenu sera développé dans la partie « collecte des données ». En Août 2016, 274 598 participants étaient inscrits et 159 828 inclus.

Les participants sont suivis grâce à un site Internet développé à cet usage : [www.etude-nutrinet-sante.fr](http://www.etude-nutrinet-sante.fr) (Figure 7). Tous les questionnaires et les collectes de données sont conçus pour être remplis directement sur le site Internet, à l'aide d'une interface HTML sécurisée. Toutes les conditions de sécurité informatique et physique des données sont assurées.

Une fois recrutés, le maintien des Nutrinautes sur le long terme dans l'étude est un enjeu majeur. Afin de fidéliser les participants, des nouvelles régulières sur l'étude sont diffusées via les réseaux sociaux (Facebook, Twitter), via la newsletter et sur le site de l'étude dans les rubriques « actualités de l'étude » et « NutriNet-Santé dans la presse ». Plus récemment, le site de l'association des Nutrinautes et des Suvimaxiens a été développé et propose aux adhérents des interviews des chercheurs, des informations sur les études en cours, etc.



Figure 7 : Ecran d'accueil du site Internet de l'étude NutriNet-Santé

Pour les participants considérés comme « perdus de vue », c'est-à-dire ceux dont la date de dernière réponse à un questionnaire est supérieure à 6 mois, une procédure de relance est mise en place. Un premier mail est envoyé et en fonction de la réponse (ou de l'absence de réponse) du Nutrinaute, une mise en contact par téléphone avec cette personne est réalisée afin de l'inciter à poursuivre l'étude NutriNet-Santé et de connaître sa décision quant à sa participation. Dans le cas où le Nutrinaute souhaite consacrer moins de temps à l'étude, différents types de suivi lui sont proposés, par exemple il peut recevoir uniquement les questionnaires alimentaires et les kits anniversaires.

L'étude a été reconnue comme garantissant la sécurité informatique et physique des données. Elle a reçu les avis favorables du Comité de Qualification Institutionnelle (IRB) de l'Inserm (IRB Inserm n°0000388FWA00005831), du CCTIRS (n°08.301) et de la Commission Nationale Informatique et Libertés (CNIL n°908450 et n°909216) (Hercberg, 2010).

## 1.2 Collecte et traitement des données

Tous les questionnaires sont conçus pour être remplis directement sur le site Internet. Lors de leur inscription, les participants remplissent un formulaire de consentement confirmant leur volonté de participer à l'étude et un questionnaire d'inscription comprenant les nom, prénom, sexe, date / commune / pays de naissance, adresse et informations du médecin traitant. Après l'inscription et afin d'être inclus dans l'étude, les sujets remplissent un « kit d'inclusion » comprenant les questionnaires alimentaires (3 enregistrements alimentaires non consécutifs de 24h sur 15 jours) et les questionnaires sur l'activité physique, sur les données anthropométriques, démographiques et socioéconomiques, sur le mode de vie et sur l'état de santé. Les participants ont 3 mois pour remplir le kit d'inclusion, à l'exception des questionnaires alimentaires. Pour ces derniers, les participants ont 90 jours pour le tirage au sort des trois dates puis 42 jours après la date correspondante pour les remplir. Ensuite, chaque année au cours de leur suivi, les Nutrinautes reçoivent un « kit anniversaire » comprenant l'ensemble de ces questionnaires permettant d'actualiser leurs données. Même s'il est fortement encouragé de remplir annuellement ces questionnaires, le non remplissage n'engendre pas d'exclusion de la cohorte.

Tous les mois, les participants sont également invités à remplir des questionnaires optionnels. Parmi eux, on distingue les questionnaires sur les nouveaux événements de santé éventuels (tous les 3 mois), les questionnaires alimentaires semestriels (mis en place depuis 2012) et les questionnaires sur des thématiques particulières abordant différents déterminants des comportements alimentaires et du statut nutritionnel tels que le sommeil, l'alimentation intuitive, les connaissances nutritionnelles, la mémoire, etc. C'est dans ce cadre que le questionnaire permettant d'évaluer l'attrance pour le gras, le salé et le sucré a été lancé et administré auprès des participants de l'étude dans NutriNet-Santé. De même, les données de restriction cognitive, d'alimentation incontrôlée et d'émotivité alimentaire sont issues d'un questionnaire évaluant les déterminants psychologiques liés à l'alimentation. Enfin, le questionnaire permettant d'évaluer la désirabilité sociale a également été proposé de manière optionnelle aux Nutrinautes.

### 1.2.1 Données démographiques, socioéconomiques et de mode de vie

#### 1.2.1.1 Collecte des données

Le questionnaire démographique, socioéconomique et de mode de vie est rempli à l'inclusion, puis une fois par an de façon optionnelle, permettant une mise à jour des données personnelles. Il contient des informations sur la situation familiale, la composition

du foyer, le revenu du foyer, la situation professionnelle (catégorie socio-professionnelle, profession et statut vis-à-vis de l'emploi), le diplôme le plus élevé, le statut tabagique, la consommation d'alcool ainsi la consommation hebdomadaire de poisson, souvent difficile à évaluer via les enregistrements alimentaires de 24h.

#### *1.2.1.2 Traitement des données*

Dans le cas du diplôme, du statut et de la situation face à l'emploi, les participants ont la possibilité de choisir la modalité « autre » et de saisir en clair leur situation. Ces données sont ensuite reclassées selon des décisions formalisées principalement basées sur les données du ministère de l'éducation et de l'INSEE. Cependant, certaines données sont impossibles à reclasser et sont par conséquent considérées comme manquantes. Concernant le revenu, il est ensuite ramené à l'unité de consommation comme définie par l'INSEE. Ce système de pondération attribue un coefficient à chaque membre du ménage, permettant de comparer les niveaux de vie de ménages de tailles ou de compositions différentes. Avec cette pondération, le nombre de personnes du foyer est ramené à un nombre d'unités de consommation (UC) selon les critères de l'INSEE basés sur ceux de l'OCDE (INSEE, 2016).

### **1.2.2 Données de santé**

#### *1.2.2.1 Collecte des données*

Le questionnaire santé permet de recueillir plusieurs informations de santé, telles que les antécédents personnels de maladies (cancers, événements cérébrovasculaires ou coronaropathies, hypertension artérielle (HTA), diabète de type 1 ou 2, dyslipidémies, etc.), les hospitalisations, les coordonnées des médecins spécialistes, les prises de médicaments et de compléments alimentaires, ainsi que des informations sur la vie reproductive des femmes (règles, contraception, grossesse, ménopause, traitements hormonaux substitutifs de la ménopause). Ensuite, les participants sont invités, au travers des questionnaires de surveillance via une interface spécialisée, « dossier personnel complémentaire », à saisir tout événement de santé (hospitalisation, diagnostic, etc.), un nouveau traitement ou un nouvel examen de santé durant le suivi.

#### *1.2.2.2 Traitement des données*

A partir des données recueillies depuis le site de l'étude NutriNet-Santé, et du site « dossier personnel complémentaire », une base spécifique de gestion des événements de santé est créée pour le suivi et l'investigation des événements de santé. Cette base récapitule tous les

événements déclarés à investiguer ou à vérifier, ainsi que l'avancement des investigations, depuis la déclaration par le volontaire jusqu'à la présentation aux comités de validation des événements. A partir des déclarations des volontaires, les médecins de l'équipe médicale NutriNet constituent les dossiers en recueillant le dossier clinique du volontaire où tous les éléments nécessaires à la validation et la codification des événements sont disponibles, pour être ensuite validé par les comités de validation.

### **1.2.3 Données anthropométriques**

#### **1.2.3.1 Collecte des données**

Les participants sont invités à renseigner les valeurs les plus récentes de poids et de taille. Pour la taille, il leur est conseillé de donner par exemple la mesure issue d'une visite médicale, de la médecine du travail, ou celle figurant sur leur carte d'identité. Pour le poids, si les participants ne le connaissent pas ou si la mesure est ancienne, il leur est demandé de prendre la mesure eux-mêmes à domicile s'ils possèdent une balance. Des instructions détaillées et une vidéo expliquent comment réaliser une mesure fiable. Les mesures de poids doivent être arrondies au kilogramme inférieur quand les décimales sont comprises entre 0,1 et 0,4 et au kilogramme supérieur le cas échéant. Pour chacune des valeurs renseignées, des limites seuils ont été fixées. La taille doit être comprise entre 90 et 220 cm et le poids, entre 30 et 250 kg. Dans tous les cas, un message invite le participant à vérifier la donnée qu'il a saisie avant de passer à l'étape suivante.

Ce questionnaire inclut également des questions sur la trajectoire pondérale au cours des 3 derniers mois, l'histoire pondérale (poids maximum et minimum atteints et âges correspondants), le suivi d'un régime alimentaire particulier et ses raisons, la pratique de régimes amaigrissants actuellement et dans l'année écoulée, la pratique de régimes afin de stabiliser son poids actuellement et dans l'année écoulée, l'auto-perception du poids et l'image corporelle évaluée par les silhouettes de Sorensen (Stunkard, 1983).

#### **1.2.3.2 Traitement des données**

Malgré les procédures de contrôle pour vérifier la validité de ces données lors de la saisie, j'ai réalisé dans ce travail de thèse un traitement des données pour corriger certaines valeurs. Pour la taille, les valeurs inférieures à 1,40 mètres et supérieures à 2 mètres étaient vérifiées. Si une différence supérieure à 20 centimètres était observée avec une des années précédentes, la donnée était corrigée en prenant la taille de l'année précédente, sauf si celle-ci présentait le même doute ou était manquante. Dans ce cas, la valeur de l'année N-2 était utilisée et ainsi de suite jusqu'à l'année d'inclusion. Si les tailles de toutes les années

disponibles semblaient douteuses (taille inférieure à 1 mètre ou largement supérieure à 2 mètres) la donnée était supprimée.

Pour le poids, plus susceptible de subir des variations au cours du temps, un contrôle automatique est plus difficile à mettre en œuvre. Les règles de vérification suivantes ont néanmoins été appliquées : s'il existait une différence de poids supérieure ou égale à 30 kg entre deux années, et qu'aucune autre donnée de poids ou de régime expliquant une telle différence n'était disponible, alors la donnée était supprimée. Sinon les données étaient étudiées au cas par cas. En particulier, s'il s'agissait d'une inversion entre la donnée de poids et celle de la taille, ou que le poids était égal à la taille et que plusieurs autres données indiquaient quant à elles un poids similaire, alors la donnée était corrigée en prenant la dernière donnée observée.

L'indice de masse corporelle (IMC) est l'indicateur communément utilisé pour mesurer la corpulence et estimer les prévalences de surpoids et d'obésité. Il correspond au poids, divisé par la taille au carré, exprimé en  $\text{kg/m}^2$  (World Health Organization, 2000). Il a été calculé à partir des données de poids et tailles corrigées. Si l'IMC était supérieur à 60 et que les données n'étaient disponibles que pour une année, elles étaient supprimées. Sinon, les données étaient étudiées au cas par cas. Enfin, si l'IMC était inférieur à 11 pour les femmes et 13 pour les hommes, la donnée était supprimée car considérée comme incompatible avec la vie (Comité OMS, 1995; Henry, 1990). Nous avons créé les classes d'IMC selon les références de l'OMS (World Health Organization, 2000) : poids normal incluant l'insuffisance pondérale ( $\text{IMC} < 25 \text{ kg/m}^2$ ), surpoids ( $25 \leq \text{IMC} < 30 \text{ kg/m}^2$ ) et obésité ( $\text{IMC} \geq 30 \text{ kg/m}^2$ ).

Nous avons également travaillé avec d'autres indicateurs du statut pondéral tels que la variation de poids relative sur 4 ans, qui est égale au rapport du poids final moins le poids initial, sur le poids initial, multiplié par 100. Nous avons également évalué la fluctuation pondérale qui se définit comme la succession de cycles de poids associant pertes puis reprises. Le calcul choisi dans ce travail de thèse permettait de prendre en compte l'amplitude maximum des fluctuations. Cette amplitude a été évaluée sur une période de 4 ans, soit 5 données de poids, permettant de calculer l'écart maximum qui est l'écart entre le poids extrême du cycle et le poids au même âge prédit (Vergnaud, 2008).

## **1.2.4 Données d'activité physique**

### **1.2.4.1 Collecte des données**

L'activité physique et la sédentarité sont évaluées lors de chaque suivi annuel en utilisant l'International Physical Activity Questionnaire (IPAQ) (Craig, 2003; Hagstromer, 2006; Hallal,



2004) dans sa version française. Il comporte trois parties visant à évaluer l'activité physique intense (ex : bêcher le jardin, faire du VTT), l'activité physique modérée (ex : passer l'aspirateur, faire du vélo tranquillement), la marche et le temps passé à être assis. Pour chacune des activités évaluées, le participant doit préciser le nombre de jours de pratique lors de la semaine qui vient de s'écouler et la durée de chacune d'elles.

#### *1.2.4.2 Traitement des données*

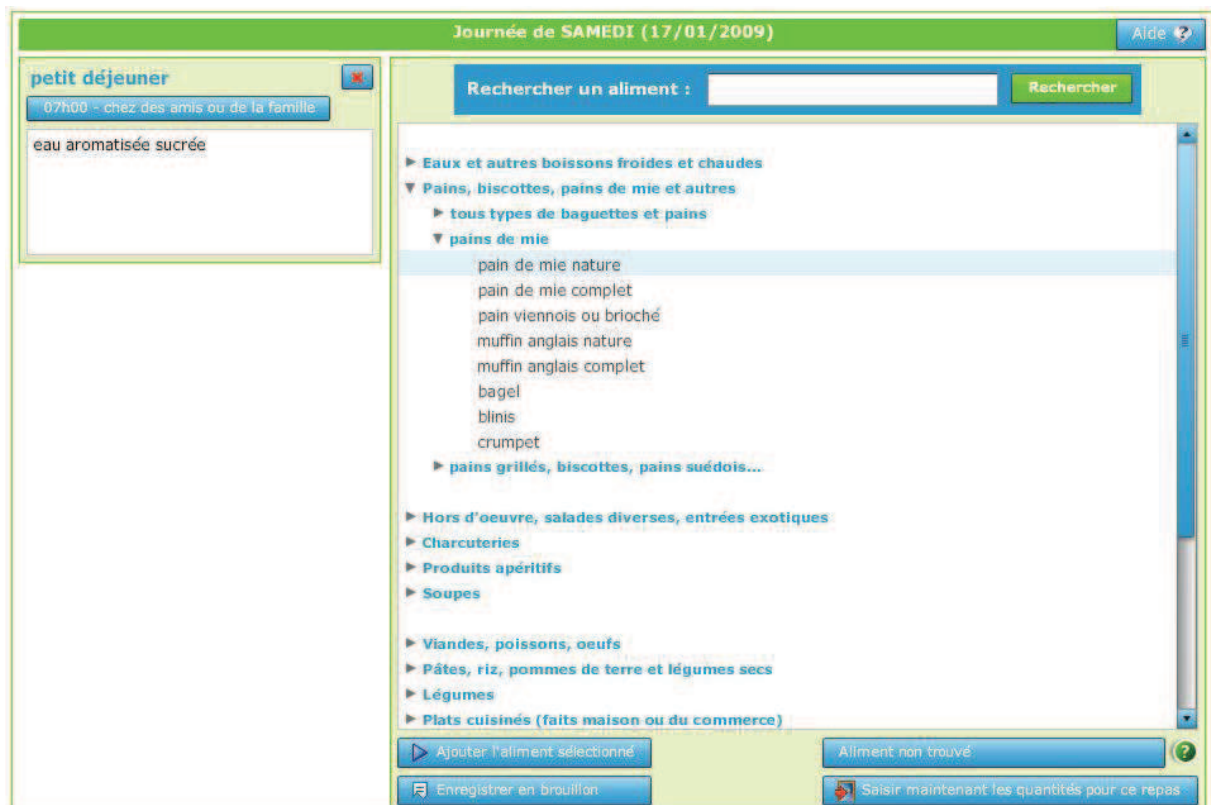
Le coût énergétique lié à une activité physique est exprimé en équivalent métabolique (MET) qui se définit par le rapport du coût énergétique d'une activité donnée sur la dépense énergétique au repos (Ainsworth, 2011). Ainsi, la dépense énergétique hebdomadaire est exprimée en MET-minutes/semaine, puis selon le nombre de jours d'activité et l'intensité de celle-ci, le niveau d'activité physique est créé : faible (<30 min de marche rapide ou équivalent/jour), modéré (30-59 min/jour) et intense ( $\geq 60$  min/jour) (IPAQ Group, 2005).

#### *1.2.5 Données alimentaires*

Le logiciel de collecte des données alimentaires NutriNet-Santé possède différentes fonctionnalités qui permettent une collecte précise des consommations alimentaires habituelles du participant. Il s'agit d'un système exhaustif qui permet de saisir, pour l'ensemble des prises alimentaires sur une période de 24 heures, la nature des aliments consommés (y compris leur recette), leurs quantités précises respectives et les conditions de leur prise (lieu, horaire). C'est également un système interactif conçu pour être utilisé en auto-questionnaire. De plus, il est facilement accessible via Internet et dispose d'un système de contrôle permettant de minimiser les oublis dans les types d'aliments déclarés.

##### *1.2.5.1 Saisie de l'enregistrement alimentaire de 24h*

Les données alimentaires sont récoltées à l'inclusion et chaque année, à l'aide de trois enregistrements alimentaires de 24h sur une période de 2 semaines dont les dates sont tirées au sort, comprenant une journée en week-end. Pour chaque enregistrement, le participant doit remplir toutes les prises alimentaires (aliments et boissons) du lever au coucher, à quelles heures et dans quelles conditions, ainsi que les lieux des prises (à la maison, chez des amis/famille, à la cantine, etc.).



**Figure 8 :** Exemple de saisie des aliments et boissons dans l'outil d'enregistrement alimentaire de 24h, NutriNet-Santé

Une fois les conditions spatio-temporelles complétées, le participant indique les aliments et boissons consommés. Il doit les sélectionner parmi une liste de 2 400 références, regroupées par catégories sous forme d'arborescence, afin de faciliter la recherche (Figure 8). Un moteur de recherche autorisant les fautes d'orthographe et une saisie incomplète est également disponible. Si le participant ne trouve pas l'aliment consommé, il peut le saisir manuellement dans un champ de saisie libre prévu à cet effet, et l'aliment sera ensuite incrémenté dans la base. Ensuite, le participant est également invité à renseigner la marque ou la recette du produit. Pour chaque aliment saisi, le superviseur propose la liste des aliments habituellement associés (« accompagnements ») à l'aliment sélectionné. Une fois la prise alimentaire entièrement saisie, le superviseur réalise un appariement avec les aliments habituellement associés aux aliments saisis et des aliments très courants type eau, pain, matières grasses, etc. Il propose ainsi à l'utilisateur la liste de groupes d'aliments correspondants et non saisis pour vérifier qu'il n'y a eu aucun « oubli ».

Une fois tous les aliments et boissons saisis, le participant doit compléter les quantités consommées. Il est aidé de photographies issues du portionnaire validé et utilisé dans l'étude SU.VI.MAX (Le Moullec, 1996) afin d'apprécier les quantités et les unités ménagères (Figure 9). Trois photographies représentant trois portions sont proposées, ainsi que les



portions intermédiaires et extrêmes, soit 7 portions possibles au total. Les participants ont également la possibilité d'indiquer directement la quantité consommée en grammes ou en millilitres.



**Figure 9** : Photographies de portions de l'outil d'enregistrement alimentaire de 24h, NutriNet-Santé

Enfin, il est demandé au participant si ses consommations étaient conformes à son alimentation habituelle. Le cas échéant, le Nutrinaute doit préciser s'il a mangé plus ou moins que d'habitude, ou en quantité habituelle mais différemment en qualité, ainsi que les raisons de cette alimentation inhabituelle.

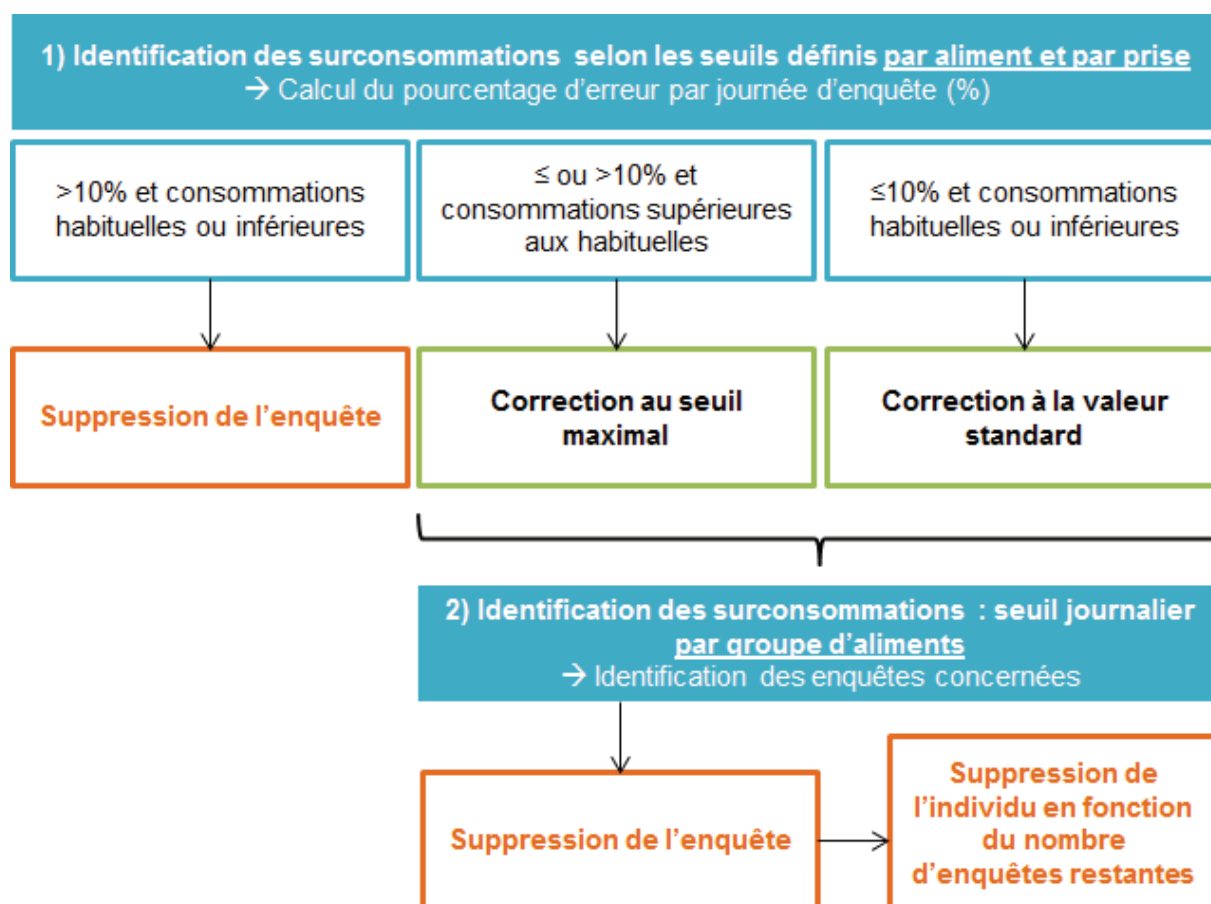
### 1.2.5.2 Traitement des données alimentaires

Dans un premier temps, les aliments saisis en clair sont reclassés à l'aide d'un logiciel de « text mining » qui permet d'automatiser et d'optimiser la reconnaissance lexicale. Les aliments reconnus sont ainsi reclassés dans la base de données à un aliment connu de la table de composition, et les non-reconnus sont implémentés par les diététiciens de l'équipe, afin d'enrichir la base.

A partir de ces données issues des enregistrements de 24h, les consommations alimentaires journalières sont ensuite estimées. Tout d'abord, pour certains aliments, les quantités réellement consommées sont calculées en appliquant un coefficient déterminant la portion comestible de l'aliment. Lorsque les participants ont renseigné la recette, un coefficient de rendement est également appliqué aux ingrédients cuits afin de prendre en compte les pertes ou gains d'eau liés au processus de cuisson. Les apports en nutriments sont estimés en utilisant la table de composition nutritionnelle « NutriNet-Santé » publiée en 2013 pour un peu plus de 2 000 aliments (Arnault, 2013) et qui recense aujourd'hui les valeurs

nutritionnelles pour plus de 3 500 références, incluant les marques et les aliments saisis en clair régulièrement.

Un seuil maximum et une valeur standard de consommation par prise alimentaire ont été définis pour chaque aliment, permettant d'identifier les surconsommations. Les étapes d'identification, de correction ou de suppression de l'enquête alimentaire sont décrites dans la Figure 10. Si le participant déclare avoir eu une alimentation différente de son alimentation habituelle et que des écarts sont constatés par rapport aux seuils de consommation maximum, différentes corrections sont appliquées. Par exemple, si le pourcentage d'erreur est supérieur à 10% et que les consommations sont habituelles ou plus faibles, l'enquête est supprimée. Un second niveau de contrôle est également effectué au niveau des groupes d'aliments pour lesquels le nombre de prises maximums et des seuils maximums de consommations ont été définis. Les enregistrements de 24h présentant des données aberrantes au regard de ces valeurs critiques sont supprimés.



**Figure 10** : Schéma détaillant les étapes d'identification des surconsommations

Enfin, la sous-déclaration dans les enquêtes alimentaires est identifiée par la méthode développée par Black (Black, 2000). Elle se base sur l'hypothèse selon laquelle, pour un

individu de poids stable, l'apport et la dépense énergétique sont égaux (Energy Intake EI et Energy Expenditure EE). Ainsi, le ratio entre l'apport énergétique et le métabolisme de base (Basal Metabolic Rate, BMR) est égal à un coefficient d'activité physique (Physical Activity Level, PAL). Goldberg et coll. ont défini un seuil de PAL minimum en-dessous duquel il est impossible de rester en poids stable et par conséquent une perte de poids devrait être observée (Goldberg, 1991). On définit alors les sous-déclarants comme les participants déclarant un apport énergétique moyen de telle sorte que le ratio EI/BMR est inférieur à ce seuil.

Pour un individu donné, le BMR est calculé à partir des équations de Schofield qui prennent en compte le sexe, l'âge, le poids et la taille (Schofield, 1985). L'apport énergétique moyen est calculé à partir de la moyenne journalière des apports énergétiques calculée sur les enquêtes validées (avec prise en considération de la pondération). Un minimum de deux enquêtes est nécessaire au calcul. L'identification de la sous-déclaration se fait séparément pour chaque période de recueil des données alimentaires.

Deux seuils de PAL sont considérés : un seuil égal à 0,88 permettant d'identifier les sous-déclarants « extrêmes » qui sont systématiquement exclus et un seuil fixé à 1,55 pour les sous-déclarants restants. Parmi ces derniers, certains sujets identifiés comme sous-déclarants ne sont pas considérés comme tels dans les cas suivants :

- Consommations inhabituelles : le participant a déclaré manger moins que ses consommations habituelles
- Régime actuel pour perdre du poids
- Perte de poids récente (>5kg)

Après traitement des données, une pondération est calculée sur les enquêtes validées afin de tenir compte de la variabilité intra-individuelle au cours de la semaine (jours de semaine/de week-end).

La comparaison de ces données alimentaires a été réalisée avec celles recueillies lors d'un entretien avec une diététicienne montrant une bonne concordance (Touvier, 2011). De même, des études de validation ont confirmées la validité des données alimentaires collectées, comparées à des biomarqueurs sanguins et urinaires (Lassale, 2015; Lassale, 2016).

Dans nos analyses, les données alimentaires ont été utilisées sous la forme de groupes d'aliments (selon la classification des 64 groupes alimentaires du PNNS) et de l'apport énergétique journalier.

## 1.2.6 Données d'attirance sensorielle pour le gras, le salé et le sucré

### 1.2.6.1 Questionnaire PrefQuest

Le projet ANR EpiPref (Epidémiologie des Préférences) a été lancé en 2008 avec l'objectif d'étudier les préférences et les comportements vis-à-vis des aliments gras, salés et sucrés en adoptant une approche épidémiologique sur une large population. Il a été financé par l'Agence Nationale de la Recherche (ANR) et coordonné par le Centre des Sciences du Goût et de l'Alimentation (CSGA) dans le cadre du programme d'appel d'offres ALimentation et Industrie Alimentaire (ALIA). Ce projet avait pour objectif d'étudier de manière approfondie les comportements vis-à-vis des aliments gras, salés et sucrés en évaluant les relations entre les consommations alimentaires, les préférences déclarées ou mesurées, les représentations et croyances nutritionnelles, et la composition salivaire.

EpiPref s'inscrivait dans une nouvelle approche de l'épidémiologie nutritionnelle se focalisant sur les déterminants sensoriels des comportements alimentaires en empruntant des concepts et méthodes aux sciences sensorielles pour les appliquer à l'épidémiologie. L'objectif principal du projet visait à concevoir et valider un outil à appliquer à grande échelle de façon rapide et simple pour mesurer l'attirance sensorielle vis-à-vis du gras, du salé et du sucré : le questionnaire PrefQuest (Deglaire, 2012). C'est dans le cadre de la valorisation des données issues du projet EpiPref que s'inscrit cette thèse, et les données d'attirance sensorielle sont issues du questionnaire développé et validé durant le projet.

La faisabilité, la répétabilité et la validité interne du questionnaire ont été évaluées à partir du questionnaire préliminaire de 146 items. Ces analyses ont permis de sélectionner les 83 items définissant les dimensions (gras-salé, gras-sucré, salé et sucré) qui se répartissent de la manière suivante : salé (11 items) sucré (21 items), gras-salé (31 items) et gras-sucré (20 items) (Deglaire, 2012). Les analyses factorielles confirmatoires ont mis en évidence que le goût salé est unidimensionnel, le goût sucré est multidimensionnel composé de sous-facteurs « aliments sucrés », « ajout de sucre » et « sucres naturels » et la sensation de gras est aussi multidimensionnelle et se compose des sous-facteurs « gras-salés » et « gras-sucrés » eux même composés des sous-facteurs « gras-salé extrinsèque » et « gras-salé intrinsèque » ; « ajout de gras-sucré » et « aliments gras-sucrés » respectivement. Le détail des aliments et assaisonnements composant chaque sensation/goût apparaît dans le Tableau 1.

**Tableau 1** : Liste des aliments répertoriés dans le PrefQuest entrant dans la construction des scores d'attirance sensorielle pour le gras, le salé et le sucré

Sensation/Goût	Aliments
<b>Gras</b>	Beignet, biscuit sablé, chausson aux pommes, crème brûlée, croissant, gaufrette, paris-brest, pain au chocolat, Nutella à la cuillère, crêpe au Nutella, Nutella, pain avec du Nutella, brownie, gâteau au chocolat, mousse au chocolat, brownie chantilly, crêpe chantilly, fraise chantilly, glace chantilly, chipolata, chorizo, confit, pâté, rillettes, salami, saucisse fumée, saucisson sec, hamburger, friand, kebab, nugget, caprice, cantal, fondue savoyarde, sauce au roquefort, tartiflette, biscuit apéritif, cacahuète, chips, pain avec beurre, fromage et beurre, sandwich sans beurre, haricot avec beurre, pâtes avec beurre, purée avec beurre, radis avec beurre, saucisson avec beurre, saumon à la crème, soupe avec de la crème, steak avec beurre
<b>Salé</b>	Frites salées, haricots salés, œufs salés, pâtes salées, poulet salé, purée salée, sel dans la cuisson des pâtes, prendre du sel pour un pique-nique, saler son plat, saler sa soupe, saler son steak
<b>Sucré</b>	Fruits secs, crème de marrons, miel, pain d'épice, confiture à la petite cuillère, cuillère de confiture sur la crêpe, pain avec de la confiture, yaourt avec de la confiture, sucre dans le café, sucre dans le café s'il n'y en a pas, sucre dans le thé, sucre ajouté sur la crêpe, sucre ajouté sur les fraises, faisselle peu sucrée au restaurant, sucre dans le yaourt, boissons froides, biscuits aux fruits, bonbons, crèmes dessert, îles flottantes, nectar de fruits

Les 83 items se répartissent en 4 parties (Deglaire, 2012). La première évalue l'attirance pour des aliments gras-salés, gras-sucrés et sucrés (41 items) à l'aide d'échelles de Likert de 9 points allant de « je n'aime vraiment pas du tout » à « j'aime vraiment beaucoup » et une catégorie de réponse supplémentaire si l'individu n'a jamais goûté l'aliment. Une seconde partie composée de 19 items permet de mesurer le niveau d'assaisonnement préféré à l'aide d'échelles de 6 points allant de « sans assaisonnement » à « avec beaucoup » et une catégorie de réponse supplémentaire si le participant n'aime pas l'aliment proposé à assaisonner. Les niveaux d'assaisonnement d'ajout de gras-salé, gras-sucré, sel et sucre proposés sont visibles sur des photographies pour les gradients 0, 2 et 4 afin que le participant visualise les quantités d'assaisonnement. Treize items sans photographies sont également présents pour mesurer le niveau d'assaisonnement préféré. Une troisième partie évalue les boissons préférées dans un menu contenant 3 propositions de boissons très sucrées sur 6, avec la possibilité de n'en choisir aucune. Dans la quatrième partie du questionnaire, les comportements alimentaires en lien avec l'attirance sensorielle sont

mesurés à l'aide de questions sur les habitudes alimentaires avec des échelles de notation de 5 ou 9 points (9 items). Des distracteurs ont également été ajoutés à travers le questionnaire, tels que l'ajout de ketchup ou de citron.

Les données d'attirance collectées par questionnaire ont été comparées à des données d'attirance mesurées lors de tests sensoriels. Les tests ont été effectués chez 557 individus, sur 32 matrices alimentaires (9 pour le gras, 10 pour le sucre et 12 pour le sel) comprenant chacune cinq variantes de sucre, sel ou lipides (Urbano, 2016). Les corrélations entre les deux outils étaient satisfaisantes pour le sucre ( $r=0,49$   $P<0.001$ ) et le sel ( $r=0,44$   $P<0.001$ ) et un peu moins pour le gras ( $r=0,24$   $P<0.001$ ) (Deglaire, 2011).

Ce questionnaire a été administré en Mai 2010 à tous les participants inclus avant cette date dans la cohorte pour une période de 6 mois, et 49 410 Nutrinautes y ont répondu. Un extrait des différents types de questions est visible sur la Figure 11 et le questionnaire intégral est présenté en annexe 1.

Comment aimez-vous... **Attirance aliment**

Les olives d'apéritif :

Je n'aime vraiment pas du tout (-)          J'aime vraiment beaucoup (+)  Je n'ai jamais goûté

Comment préférez-vous vos fraises... **Niveau préféré d'assaisonnement**

0 1 2 3 4 5

Cochez ici la case qui correspond à la façon dont vous préférez vos fraises :

sans chantilly  0  1  2  3  4  5 avec beaucoup de chantilly  Je n'aime pas les fraises

**Boissons sucrées**

Sélectionnez les boissons que vous préférez :  
Vous pouvez en choisir jusqu'à 3.  
Si rien ne vous attire dans la liste, cochez la case "aucune".

Jus de fruits (abricot, poire, raisin, fruits exotiques, orange)  
 Jus de tomate  
 Soda (limonade, fanta, coca-cola, orangina, ...)  
 Diabolo (fraise, menthe, pêche, grenadine, ...)  
 Eau gazeuse et sa rondelle de citron  
 Eau minérale  
 Aucune

**Boissons préférées dans un menu**

Chez vous, mettez-vous la salière sur la table ? **Comportement alimentaire**

Jamais  Rarement  Parfois  Souvent  Toujours

Figure 11 : Extrait du questionnaire PrefQuest (Deglaire, 2012)



### 1.2.6.2 Traitement des données et création des scores d'attirance sensorielle

Excepté pour la 3<sup>ème</sup> partie évaluant les boissons préférées, les données recueillies ont été linéairement transformées en valeurs allant de 0 à 10. Dans la troisième partie, un rapport a été calculé en divisant le nombre de boissons très sucrées sélectionnées, par le nombre total de boissons choisies. Ce taux a ensuite été multiplié par 10 afin d'obtenir un score allant de 0 à 10. Si le sujet avait coché « aucun », une valeur de 0 lui était attribuée.

Si la réponse choisie était « je n'aime pas » ou « je n'ai jamais goûté » [cet aliment], elle était codée en donnée manquante. La modalité « je n'aime pas » signifie que le sujet n'aime pas les aliments proposés à l'assaisonnement, bien que ce soient des aliments volontairement classiques et variés tels que le steak-haché ou les pâtes. La réponse « je n'ai jamais goûté » [cet aliment] signifie que le sujet ne connaît pas le goût de l'aliment donc ne peut pas le juger. Toutefois, afin d'éviter d'avoir un trop grand nombre de données manquantes, la sélection des aliments proposés étaient très variée.

Les sujets présentant plus de 25% de données manquantes pour les items d'une sensation ou d'un goût (gras-sucré, gras-salé, salé ou sucré) étaient éliminés des analyses. En effet, pour ces sujets, il aurait fallu estimer un trop grand nombre de données manquantes et le score n'aurait pas été représentatif des réelles attirances du sujet pour la sensation ou le goût en question. Concernant les sujets ayant moins de 25% d'items manquants pour une sensation/un goût, une imputation a été réalisée. Les réponses manquantes pour chaque item concerné ont été remplacées par une valeur obtenue avec la formule suivante (moyenne de la sensation/goût du sujet + moyenne de l'item dans l'échantillon - moyenne de la sensation/goût dans l'échantillon).

Ensuite, les scores d'attirance pour le gras (gras-salé et gras-sucré), le salé et le sucré ont été construits. Pour cela, les réponses aux items de chacune des sensations/goûts ont été additionnées puis divisées par le nombre d'items pour chaque sensation, afin d'avoir un score compris entre 0 et 10. Ainsi, quatre scores ont été obtenus pour le gras-sale, le gras-sucré, le salé et le sucré.

## 1.2.7 Données psychologiques

### 1.2.7.1 Collecte des données

Les caractéristiques psychologiques associées à l'alimentation ont été récoltées dans le cadre de l'étude NutriNet-Santé à l'aide du Three-Factor Eating Questionnaire (TFEQ), de façon optionnelle auprès des Nutrinautes inclus, 14 mois après le lancement de l'étude. Ce

questionnaire est très largement utilisé pour étudier ces questions dans le domaine de la psychologie et de la nutrition. Une première version à 51 items a été mise au point et validée en 1985 par Stunkart et Messick (Stunkard, 1985). Dans le cadre de NutriNet-Santé, c'est la version française à 21 items du TFEQ (Tholin, 2005), qui a été sélectionnée et proposée aux Nutrinautes. Ce questionnaire couvre les trois aspects psychologiques des comportements alimentaires : la restriction cognitive (6 items), l'alimentation incontrôlée (9 items) et l'émotivité alimentaire (6 items). Il est composé de 20 items à 4 modalités ordinales et d'un item supplémentaire sur la restriction cognitive avec une échelle de notation allant de 1 à 8, de « pas de restriction du tout sur l'alimentation » à « une restriction importante ». Les 4 modalités de réponse ont chacune une valeur : complètement faux : 1, assez faux : 2, assez vrai : 3 et entièrement vrai : 4, la valeur la plus élevée correspondant au comportement le plus « extrême ». Le détail des questions et des modalités de réponse est visible en annexe 2.

#### *1.2.7.2 Traitement des données*

Les réponses aux items de chaque dimension (restriction cognitive, alimentation incontrôlée et émotionnalité alimentaire) ont été additionnées. Les scores bruts des trois dimensions obtenus ont été standardisés pour obtenir des scores allant de 0 à 100 en faisant le calcul suivant :  $(\text{score brut obtenu} - \text{score théorique le plus faible}) / \text{gamme de score brut possible} * 100$  (De Lauzon, 2004; Karlsson, 2000). Trois scores ont ainsi été construits, un score évaluant la restriction cognitive, un pour l'alimentation incontrôlée et un pour l'émotivité alimentaire.

### **1.2.8 Données de désirabilité sociale**

#### *1.2.8.1 Collecte des données*

Dans le cadre de cette thèse, un questionnaire a été proposé aux Nutrinautes en Septembre 2014 afin d'évaluer le niveau de désirabilité sociale, sous l'intitulé « aspects de la personnalité et attitudes ». Le choix s'est porté sur le questionnaire à 36 items de désirabilité sociale (DS36) (Tournois, 2000) car il s'agit d'un questionnaire assez récent (2000), validé en français et créé à partir de 8 questionnaires reconnus pour mesurer les aspects de la personnalité. Ce questionnaire permet de mesurer deux dimensions de la désirabilité sociale : l'autoduperie (fait de se tromper soi-même en toute bonne foi, de manière inconsciente) et l'hétéroduperie (fait de tromper autrui consciemment). Les modalités de réponses des 36 items sont des échelles de 7 points allant de « tout à fait faux » à « tout à fait vrai ».



### 1.2.8.2 Traitement des données

Tous les scores sont construits en sommant les réponses obtenues, en ayant au préalable inversé les 18 items pour lesquelles la réponse « tout à fait faux » donne le maximum de points. Trois scores sont ainsi calculés : un score d'autoduperie à partir de 18 questions, un score d'hétéroduperie à partir des 18 autres questions, et le score de désirabilité sociale qui est la somme des deux. Le questionnaire DS36 est visible en annexe 3.

## 2 Méthodes d'analyse

### 2.1 Sélection de l'échantillon

Tous les échantillons d'analyses des travaux réalisés dans le cadre de ma thèse ont en commun d'avoir des données disponibles et complètes pour le questionnaire d'attirance sensorielle. Les critères communs aux échantillons étaient :

- Etre inclus dans l'étude NutriNet-Santé
- Résider en France métropolitaine
- Avoir répondu au questionnaire d'attirance sensorielle

Selon les besoins liés aux questions de recherche abordées, nous avons défini d'autres critères d'inclusions spécifiques qui sont détaillés dans les travaux présentés dans la section des résultats.

### 2.2 Méthodes statistiques

Compte tenu des questions de recherche, il a été décidé d'introduire les scores d'attirance sous forme de variables catégorielles selon les quartiles sexe-spécifique, afin de caractériser des « groupes à risque » c'est-à-dire les personnes fortement attirées par une sensation ou un goût (ceux appartenant au quatrième quartile de distribution). Nous avons choisi le quatrième quartile car il n'existe pas de seuil clinique prédéfini dans la littérature.

Les données anthropométriques, alimentaires, démographiques, socioéconomiques, de mode de vie et de santé disponibles les plus proches de la passation du questionnaire mesurant l'attirance sensorielle ont été utilisées dans les analyses. Si la donnée de l'année correspondant à la passation du questionnaire était manquante, la donnée était complétée en prenant la dernière valeur observée. Il s'agit de la méthode d'imputation LOCF (Last

Observation Carried Forward). Dans le cas où la donnée était manquante sur tout le suivi, elle n'était pas prise en compte dans les analyses.

Dans tous les travaux, nous avons en premier lieu réalisé des analyses décrivant les échantillons étudiés. Ainsi, nous avons comparés les fréquences des variables catégorielles (statut tabagique, activité physiques, etc.) à l'aide de tests du Chi-2 et les moyennes des variables quantitatives continues (âge, apport énergétique, etc.) à l'aide tests de Student (2 groupes) et d'analyses de variance quand nous avons plus de deux groupes. Concernant les analyses principales, les variables choisies et les modèles utilisés sont détaillés dans les Tableau 2 et Tableau 3. Pour le risque de première espèce, nous avons retenu dans toutes nos analyses un seuil de 5%.

Il est important de noter que dans les trois premiers travaux, d'après les données de la littérature (Enns, 1979; Frye, 1994; Nakamura, 2001; Verma, 2007), ce sujet nécessitait de réaliser les analyses hommes et femmes séparées. De plus, le fait que dans cet échantillon le nombre de femmes était plus important comparé aux hommes (75% de femmes), appuyait la décision d'effectuer toutes les analyses en fonction du sexe. Cela a d'ailleurs permis d'étudier des variables spécifiques au sexe, comme la grossesse ou la ménopause. Dans cette phase descriptive, l'échantillon total a tout d'abord été décrit, puis les hommes et les femmes de façon séparée.

Tableau 2 : Description des variables utilisées dans les analyses

Nom	Description	Type	Modalités / fourchette des valeurs	Catégorie	Recueil	Traitement spécifique
<b>Score attirance gras-salé</b>	Score d'attirance sensorielle pour la sensation de gras-salé	Quantitative	0 - 10	Attirance	12 mois après lancement	Catégorisé selon les quartiles sexe-spécifiques, référence : <b>quartile 1</b>
<b>Score attirance gras-sucré</b>	Score d'attirance sensorielle pour la sensation de gras-sucré	Quantitative	0 - 10	Attirance	12 mois après lancement	
<b>Score attirance sel</b>	Score d'attirance sensorielle pour la sensation de salé	Quantitative	0 - 10	Attirance	12 mois après lancement	
<b>Score attirance sucre</b>	Score d'attirance sensorielle pour la sensation de sucré	Quantitative	0 - 10	Attirance	12 mois après lancement	
<b>Groupes d'aliments</b>	Groupes d'aliments selon la classification PNNS	Quantitative	Spécifique pour chaque groupe	Consommations alimentaire	T1	
<b>IMC</b>	Indice de masse corporelle du sujet	Quantitative	12 - 60 kg/m <sup>2</sup>	Anthropométrie	T0 - T6	Catégorisé selon les classes d'IMC de l'OMS : <b>normal</b> / surpoids / obésité, référence : normal
<b>Variation de poids</b>	Variation relative de poids	Quantitative	-52,7% - 71,4%	Anthropométrie	T1 - T5	
<b>Fluctuation pondérale</b>	Fluctuation pondérale calculée selon l'écart maximum	Quantitative	0 - 82	Anthropométrie	T1 - T5	Catégorisé selon les tertiles de fluctuation + 1 catégorie sans fluctuation, référence : faible fluctuation <b>tertile 1</b>
<b>Age</b>	Age du sujet	Quantitative	18 - 96 ans	Démographie	T0	
<b>Sexe</b>	Sexe du sujet	Qualitative	Homme / Femme	Démographie	T0	
<b>Taille d'unité urbaine</b>	Taille d'unité urbaine du lieu de résidence du sujet	Qualitative	Commune rurale / <20000 habitants / ≥20000 habitants / ≥100000 habitants / <b>Paris</b>	Démographie	T0	
<b>Situation matrimoniale</b>	Situation matrimoniale du sujet	Qualitative	Célibataire / en couple (pacs, concubinage) / <b>marié</b> / divorcé, séparé, veuf	Démographie	T0	

Nom	Description	Type	Modalités / fourchette des valeurs	Catégorie	Recueil	Traitement spécifique
<b>Enfant</b>	Si le sujet a eu des enfants qu'ils vivent ensemble ou non	Qualitative	Oui/ <b>non</b>	Démographie	T0	
<b>Niveau d'éducation</b>	Diplôme maximum obtenu par le sujet	Qualitative	Autre / primaire / secondaire / bac+2,+3/ <b>&gt;bac+3</b>	Socioéconomie	T0	
<b>Catégorie socioprofessionnelle</b>	Catégorie socioprofessionnelle du sujet	Qualitative	Jamais travaillé / agriculteur exploitant, artisan, commerçant, chef d'entreprise / employé, ouvrier / profession intermédiaire / <b>cadre, profession intellectuelle supérieure</b>	Socioéconomie	T0	
<b>Revenu par UC</b>	Revenu en classes par unité de consommation	Qualitative	NA / <900 / 900-1800 / 1800-2700 / <b>&gt;2700 €</b>	Socioéconomie	T0	
<b>Activité physique</b>	Niveau d'activité physique pratiqué	Qualitative	<b>Faible</b> / moyen / intense	Activité physique	T1	
<b>Tabac</b>	Statut tabagique	Qualitative	<b>Non fumeur</b> / ancien fumeur / fumeur	Mode de vie	T0	
<b>Alcool</b>	Consommation d'alcool	Qualitative	<b>Faible</b> / moyenne / forte	Mode de vie	T0	
<b>Régime (perte)</b>	Avoir fait un régime pour perdre du poids actuellement ou dans l'année écoulée	Qualitative	Oui / <b>non</b>	Mode de vie	T0	
<b>Régime (stable)</b>	Avoir fait un régime pour ne pas prendre du poids actuellement ou dans l'année écoulée	Qualitative	Oui / <b>non</b>	Mode de vie	T0	
<b>Régime</b>	Avoir déjà fait un régime pour perdre du poids	Qualitative	Oui / <b>non</b>	Mode de vie	T0	
<b>Restriction</b>	Restriction cognitive	Quantitative	0-100	Psychologie	14 mois après lancement	Categorisé selon les tertiles sexe-spécifiques, référence : <b>tertile 1</b>
<b>Alimentation incontrôlée</b>	Alimentation incontrôlée	Quantitative	0-100	Psychologie	14 mois après lancement	

Nom	Description	Type	Modalités / fourchette des valeurs	Catégorie	Recueil	Traitement spécifique
<b>Emotionalité</b>	Emotionalité alimentaire	Quantitative	0-100	Psychologie	14 mois après lancement	Catégorisé en 3 classes : <b>aucune</b> / faible / forte
<b>Ménopause</b>	Statut ménopausique	Qualitative	Non renseigné / <b>non</b> / oui	Santé	T0	
<b>Grossesse</b>	Grossesse en cours	Qualitative	Oui / <b>non</b>	Santé	T0	
<b>Hypertension</b>	Avoir de l'hypertension artérielle	Qualitative	Oui / <b>non</b>	Santé	T0	
<b>Diabète de type 1</b>	Avoir un diabète de type 1	Qualitative	Oui / <b>non</b>	Santé	T0	
<b>Diabète de type 2</b>	Avoir un diabète de type 2	Qualitative	Oui / <b>non</b>	Santé	T0	
<b>Hypercholestérolémie</b>	Avoir une hypercholestérolémie	Qualitative	Oui / <b>non</b>	Santé	T0	
<b>Hypertriglycéridémie</b>	Avoir une hypertriglycéridémie	Qualitative	Oui / <b>non</b>	Santé	T0	

Les modalités des variables catégorielles en **gras** sont celles qui ont été choisies comme modalité de référence pour les analyses

### **2.2.1 Analyses statistiques pour évaluer les relations entre les caractéristiques individuelles et l'attirance pour le gras, le salé et le sucré**

Dans ces travaux, la régression logistique a été utilisée. Cela nécessitait donc de vérifier en premier lieu l'hypothèse de linéarité du Logit des analyses univariées, pour les variables explicatives quantitatives (âge, restriction cognitive, alimentation incontrôlée, émotionnalité alimentaire et IMC). Cela a permis de déterminer la forme sous laquelle ces variables ont été introduites dans les modèles. La colinéarité entre les variables a également été investiguée, afin d'éviter d'introduire dans un modèle des variables explicatives qui auraient pu être linéairement liées entre elles.

La régression logistique ordinaire avait tout d'abord été évoquée comme il s'agissait d'un score catégorisé en classes, donc de modalités ordonnées. Cependant, l'hypothèse de proportionnalité des rapports de côtes, qui est une condition pour utiliser ce type de régression (Falissard, 2005), n'était pas respectée. De plus, la régression logistique ordinaire est particulièrement applicable dans le cas où il y a peu de variables explicatives dans le modèle, ce qui n'était pas le cas ici. Étant donné que la régression logistique multinomiale était également indiquée pour ces travaux, elle a été retenue dans les analyses.

Concernant les variables explicatives catégorielles à plus de 2 modalités, il a fallu choisir une modalité de référence pour chacune d'elles. Il a donc été décidé de sélectionner la catégorie la moins « à risque » d'être fortement attirée par l'une des sensations d'après la littérature (Mejean, 2011) et nos hypothèses. Le profil du consommateur « sain » qui a un niveau d'éducation élevé, un revenu élevé, ne fume pas, boit peu, etc. a donc servi de référence.

Dans un premier temps, les associations entre chaque score de d'attirance (gras-salé, gras-sucré, salé et sucré) et chacune des variables démographiques, socioéconomiques, psychologiques et de santé, ont été étudiées dans les analyses univariées en adoptant une p-value de 10% afin de conserver les variables potentiellement associées aux scores, tout en tenant compte de l'importance de la taille de l'échantillon. Pour chaque variable, des modèles de régression ont été construits pour chacune des sensations étudiées chez les hommes, puis chez les femmes.

Ensuite, il a fallu examiner les interactions de certaines variables retenues préalablement. La sélection des termes d'interaction a été réalisée en considérant pour chaque interaction, un modèle de régression entre le score d'attirance et les deux variables à tester. Il a été décidé d'étudier les interactions plausibles en s'appuyant sur la littérature. Les interactions entre l'âge et les caractéristiques psychologiques, l'âge et l'histoire de régimes, l'âge et le mode de

vie (tabac, alcool), et enfin l'histoire des régimes et les caractéristiques psychologiques ont donc été étudiées. Les interactions ont été retenues lorsqu'elles présentaient une p-value inférieure à 5%.

Pour chaque modèle de régression, une procédure manuelle de pas à pas descendante a été effectuée afin d'obtenir les modèles finaux pour les sensations de gras-salé, gras-sucré, salé et sucré, chez les hommes et chez les femmes. Le modèle a tout d'abord été simplifié en enlevant un à un les termes d'interaction non significatifs au seuil de 5% en commençant par celui qui avait la plus grande p-value. Ensuite, les facteurs principaux non significatifs ont été éliminés au seuil de 5%. A chaque suppression, on vérifiait s'il ne s'agissait pas d'un potentiel facteur de confusion en calculant la variation relative. Si celle-ci était supérieure à 10-20%, la variable était alors considérée comme un facteur de confusion et était conservée dans le modèle.

## ***2.2.2 Analyses statistiques pour évaluer les relations entre l'attirance pour le gras, le salé et le sucré, les consommations alimentaires et le statut pondéral***

### *2.2.2.1 Analyses statistiques de l'association entre l'attirance sensorielle pour le gras, le salé et le sucré avec le risque prospectif d'obésité, et effet médiateur des consommations*

Des modèles de Cox ont permis d'évaluer l'influence de l'attirance sensorielle pour le gras, le salé et le sucré et le risque d'obésité sur une durée de cinq ans. Les données étaient tronquées à gauche et censurées à droite et les individus présentant une obésité avant le début du suivi ont été supprimés afin d'éliminer les sujets prévalents. L'hypothèse des risques proportionnels a été vérifiée graphiquement et les données ont été analysées selon la méthode actuarielle étant donné que les suivis étaient annuels.

Dans un premier temps, les analyses univariées ont été conduites entre l'attirance pour les trois sensations et le risque d'obésité, puis entre l'attirance pour le gras, le salé et le sucré et les groupes d'aliments, et enfin entre les groupes d'aliments et le risque d'obésité, avec des modèles de Cox ou des analyses de régression logistique selon la nature de la variable à expliquer. Un seuil conservateur de 10% pour la p-value a été appliqué. Dans un second temps, les analyses multivariées ont été réalisées en trois étapes. Dans le modèle de base, l'association entre l'attirance sensorielle pour le gras, le salé et le sucré et le risque prospectif d'obésité a été évaluée avec l'âge en variable de temps et stratifiés sur le sexe. Ensuite, l'effet médiateur des consommations alimentaires a été évalué dans un second

modèle en ajoutant les groupes d'aliments préalablement sélectionnés (fruits, viande, charcuterie, lait et yaourt, fromage, huile, produits céréaliers complets, sucre et produits sucrés, produits gras-sucrés, boissons sucrées, boissons édulcorées), l'apport énergétique total et le mois d'inclusion permettant de prendre en compte la saisonnalité des questionnaires alimentaires. Pour finir, le modèle complètement ajusté a été analysé en ajoutant les variables d'ajustement préalablement identifiées dans les premiers travaux ainsi que l'activité physique très liées à l'IMC (niveau d'éducation, consommation d'alcool, statut tabagique, régime pour perdre du poids et activité physique).

Pour quantifier l'effet médiateur de l'alimentation introduit dans le second modèle, nous comparons l'effet des variables d'attirance sur le risque d'obésité entre le second et le premier modèle, en comparant les hazard ratios (HR). L'ampleur de l'effet médiateur est estimée par le pourcentage de réduction de l'hazard ratio (RHR) (Droomers, 2002; Mejean, 2013). Cette réduction se définit par  $RHR = ((HR \text{ 'modèle de base' } - HR \text{ 'modèle avec médiateur'}) / (HR \text{ 'modèle de base' } - 1)) * 100$ . Nous avons également estimé la part de réduction de la déviance attribuable à l'attirance sensorielle, pris en compte par l'introduction des facteurs médiateurs ou de confusion. Le pourcentage de réduction de la déviance (RD) se calcule ainsi :  $RD = ((RD \text{ de l'attirance 'modèle de base' } - RD \text{ de l'attirance 'modèle avec médiateur/facteurs de confusion'}) / RD \text{ de l'attirance 'modèle de base'}) * 100$  (Droomers, 2002; Mejean, 2013).

Des analyses complémentaires ont été réalisées en considérant d'autres indicateurs de poids : la variation de poids et la fluctuation pondérale. Ainsi, pour la variation de poids, des analyses de covariances ont été conduites afin d'estimer les moyennes ajustées et les écarts-types, selon les niveaux d'attirance, ajustées sur l'âge, l'apport énergétique, le niveau d'éducation, la position et catégorie socioprofessionnelle, le revenu, le tabac, la consommation d'alcool, le suivi d'un régime pour perdre du poids et la pratique d'activité physique. Concernant la fluctuation pondérale, des modèles de régression logistique multinomiale ont été utilisés afin d'estimer les rapports de côtes et les intervalles de confiance à 95%, de l'effet des niveaux d'attirance sur la probabilité de fluctuer, ajustés sur l'âge, l'apport énergétique, le revenu, la consommation d'alcool, le suivi d'un régime pour perdre du poids et l'activité physique. La référence était la seconde catégorie de fluctuation pondérale correspondant à une faible fluctuation selon les tertiles de distribution. La première catégorie correspondait aux individus qui ne fluctuaient pas et avaient une stabilisation du poids, une prise ou une perte uniquement.

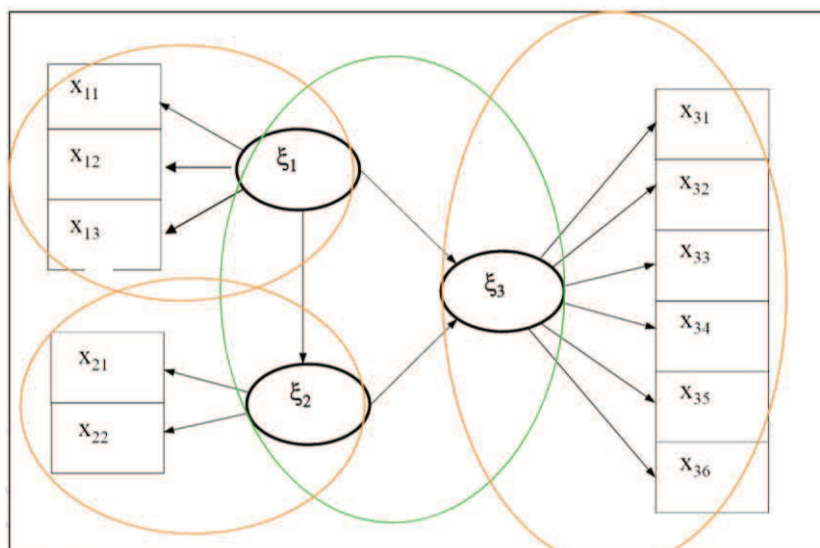


### 2.2.2.2 Analyses statistiques de la contribution relative des caractéristiques individuelles, des consommations et de l'activité physique sur la variation de poids

Pour valider notre cadre conceptuel reliant les déterminants individuels, l'alimentation et le statut pondéral, nous avons choisi de modéliser ces relations à l'aide de modèles d'équations structurelles, se basant sur un modèle établi a priori. Ces modèles permettent d'examiner des rapports de causalité multiple entre des concepts non-observables, les concepts latents, construits à partir de valeurs observées, les variables manifestes. On peut ainsi mettre en relation plusieurs déterminants sur plusieurs concepts en même temps et ainsi avoir une estimation de leur effet relatif (Byrne, 2013). L'estimation des coefficients est fondée sur une estimation des covariances par le maximum de vraisemblance, l'approche LISREL (Joreskog, 1970).

Le modèle d'équations structurelles se construit en deux temps (Figure 12) :

- Modèle externe ou de mesure qui explore les relations entre la variable latente et les variables manifestes (type réflectif) à l'aide d'analyses factorielles confirmatoires (CFA)
- Modèle interne ou structurel qui connecte les variables latentes entre elles à l'aide de régressions



**Figure 12** : Structure d'un modèle d'équations structurelles, en orange le modèle externe/de mesure, en vert le modèle interne/structurel (source : cours de statistique multivariée approfondie XLSTAT)

Ce modèle a de nombreux prérequis tels que l'indépendance des observations, la normalité des données et l'unidimensionnalité des blocs de variables. La qualité du modèle est ensuite évaluée à l'aide de plusieurs indicateurs tels que le RMSEA (root mean square error of approximation) qui doit être inférieur ou égal 0,05, le CFI (comparative fit index) qui doit être supérieur ou égal à 0,9 et le SRMR (standardized root mean square residual) doit être inférieur à 0,1 (Hu LT., 1999). Il s'agit des critères que nous avons sélectionnés dans ces travaux. Il en existe d'autres tels que la p-value du test de Chi-2 du modèle mais qui sont très dépendants de la taille de l'échantillon ; plus la taille augmente, plus la probabilité de rejeter le modèle aussi (Bollen, 1989).

Le data management et les analyses statistiques ont été réalisés sur SAS Enterprise Guide 7.1, excepté les modèles d'équations structurelles qui ont été menées avec le logiciel R en utilisant le package lavaan (Rosseel, 2012). Un résumé des principales analyses statistiques est présenté dans le Tableau 3.

Tableau 3 : Description des principales analyses statistiques réalisées pour les travaux de thèse présentées en résultats

Question de recherche	Type d'analyse	Variabiles dépendantes	Variabiles explicatives	Variabiles d'ajustement
<i>Caractéristiques associées à l'attirance pour le gras-salé et le gras-sucré</i>	<b>Régression logistique multinomiale</b> (référence quartile 1) stratifiée sur le sexe	Quartiles d'attirance gras-salé / Quartiles d'attirance gras-sucré	Age / Situation matrimoniale / Avoir un enfant / Lieu de résidence / Niveau d'éducation / Position et catégorie socioprofessionnelle / Revenu / Restriction cognitive / Alimentation incontrôlée / Emotionalité alimentaire / Consommation d'alcool / Statut tabagique / Régime actuel / Régime passé / IMC / Diabète de type 1 et 2 / Hypertension / Hypercholestérolémie / Grossesse / Ménopause	
<i>Caractéristiques sociodémographiques, psychologiques de mode de vie associées à l'attirance pour le salé et le sucré</i>	<b>Régression logistique multinomiale</b> (référence quartile 1) stratifiée sur le sexe	Quartiles d'attirance salé / Quartiles d'attirance sucré	Age / Restriction cognitive / Alimentation incontrôlée / Emotionalité alimentaire / Consommation d'alcool / Statut tabagique / Régime actuel / Régime passé	Situation matrimoniale / Avoir un enfant / Lieu de résidence / Niveau d'éducation / Position et catégorie socioprofessionnelle / Revenu / IMC / Hypercholestérolémie / Diabète de type 1 et 2 / Hypertension / Grossesse / Ménopause
<i>Influence de l'attirance pour le gras, le salé et le sucré sur le risque d'obésité</i>	<b>Modèle de Cox à risque proportionnel</b> stratifié sur le sexe	Evènement : apparition de l'obésité (IMC>30 kg/m <sup>2</sup> )	Quartiles d'attirance gras / Quartiles d'attirance salé / Quartiles d'attirance sucré	<b>Facteurs médiateurs</b> : consommations alimentaires (fruits, viande, charcuterie, lait et yaourt, fromage, huile, produits céréaliers complets, sucre et produits sucrés, produits gras-sucrés, boissons sucrées, boissons édulcorées) énergie, saisonnalité <b>Variabiles d'ajustement</b> : niveau d'éducation, consommation d'alcool, statut tabagique, régime perte de poids, activité physique

Question de recherche	Type d'analyse	Variables dépendantes	Variables explicatives	Variables d'ajustement
<i>Influence des caractéristiques individuelles, des consommations et de l'activité physique sur la variation de poids sur 5 ans</i>	<b>Modèles d'équations structurelles</b> (LISREL) stratifiés sur l'IMC (<25 kg/m <sup>2</sup> et ≥25 kg/m <sup>2</sup> )	Variation relative de poids sur 5 ans	<b>Variables latentes</b> : attirance pour le gras (attirance gras-salé / attirance gras-sucré), consommation d'aliments riches en nutriments (fruits et légumes / poisson / lait et yaourt / produits céréaliers complets / huile), consommation d'aliments riches en énergie (féculents / viande et charcuterie / fromage / produits apéritifs et sauces / beurre et autres matières grasses / produits gras-sucrés / boissons sucrées / alcool), alimentation incontrôlée et émotionnelle (alimentation incontrôlée / émotionnalité alimentaire), restriction alimentaire (restriction cognitive / régime) <b>Variables manifestes</b> : âge, sexe, revenu, statut tabagique, activité physique	

## 2.3 Caractéristiques des participants

L'étude NutriNet-Santé étant basée sur le volontariat, les caractéristiques de la population diffèrent de la population générale française (Andreeva, 2015). De plus, le questionnaire conçu dans ce travail de thèse étant optionnel, seulement une partie des participants de la cohorte y ont répondu. A titre d'exemple, le tableau ci-dessous (Tableau 4) présente les caractéristiques sociodémographiques et économiques, ainsi que les différences observées entre les individus ayant répondu au questionnaire d'attirance et ceux inclus dans la cohorte n'ayant pas répondu.

Chez les sujets ayant répondu au PrefQuest, le pourcentage de femmes, d'individus ayant un niveau d'éducation élevé (>Bac +3) et de participants ayant des revenus hauts, sont plus élevés en comparaison aux non-répondants au PrefQuest, alors que le pourcentage de fumeurs est plus faible. Les participants répondants sont également plus âgés et ont un IMC plus faible.

**Tableau 4** : Comparaison des caractéristiques des sujets ayant répondu au PrefQuest et des sujets n'y ayant pas répondu. Etude NutriNet-Santé (2009-2010) N=65 683

	Répondants n=49 066	Non-répondants n=16 617	p-value*
Age (année) moyenne (ET)	44,97 (14,44)	39,66 (13,60)	<0,0001
IMC (kg/m <sup>2</sup> ) moyenne (ET)	23,92 (4,61)	24,27 (5,03)	<0,0001
Sexe %			<0,0001
Homme	22,88	24,80	
Femme	77,12	75,20	
Diplôme %			<0,0001
Primaire	3,16	3,89	
Secondaire	34,26	38,57	
Bac +2/3	29,95	29,04	
> Bac+3	31,97	27,83	
Autre	0,66	0,67	
Revenu par unité de consommation (€) %			<0,0001
<900	10,66	15,58	
900-1800	32,91	34,62	
1800-2700	24,56	20,32	
>2700	24,91	18,61	
NA	6,96	10,87	
Tabac %			<0,0001
Non-fumeur	49,06	45,84	
Ancien fumeur	34,71	30,08	
Fumeur	16,20	24,08	
Données manquantes	0,03	0,00	

\* P-value obtenue avec le test de Student pour les comparaisons de moyennes et le test du Chi<sup>2</sup> pour les comparaisons de fréquences. Pour l'IMC, il y avait 1311 données manquantes et 188 données douteuses qui n'ont pas été prises en compte.

# Résultats

---

Cette thèse a fait l'objet de quatre articles, dont trois publiés et un soumis, et de plusieurs communications orales et affichées lors de congrès nationaux et internationaux. Les deux premiers articles s'intéressent aux caractéristiques individuelles associées à l'attirance pour les sensations de gras-salé et de gras-sucré, et les goûts salé et sucré. Le troisième article porte sur l'attirance pour le gras, le salé et le sucré et le risque prospectif d'obésité et la contribution de l'alimentation à expliquer la relation entre l'attirance et le statut pondéral. Des résultats complémentaires à cet article sur les relations entre attirance sensorielle et les fluctuations et variations pondérales sont également présentés. L'établissement d'un cadre conceptuel sur l'influence relative des déterminants démographiques, socioéconomiques et sensoriels, des consommations et de l'activité physique sur la variation de poids sur 5 ans a fait l'objet d'un quatrième article. Des analyses approfondies sont présentées sur l'impact de l'attirance pour le gras sur l'évolution du poids, stratifiées sur le degré de restriction cognitive pour compléter les résultats du cadre conceptuel. Enfin, nous aborderons en marge un point méthodologique sur les variations des corrélations entre l'attirance sensorielle déclarée par questionnaire et l'attirance sensorielle mesurée par tests, pour le gras, le salé et le sucré selon le niveau de désirabilité sociale.

# 1 Associations entre l'attirance sensorielle pour le gras-salé et le gras-sucré et les caractéristiques sociodémographiques, psychologiques, de modes de vie et de santé

Les relations entre l'attirance sensorielle pour le gras et les caractéristiques individuelles connues pour être des déterminants des consommations alimentaires, sont peu abordées dans la littérature. Or, on peut supposer que de nombreuses caractéristiques individuelles interagissent dans les relations entre attirance et consommations. Les rares études disponibles sur le sujet sont souvent menées sur de petits échantillons peu diversifiés, donc difficilement extrapolables. De plus, les relations entre attirance sensorielle et certains facteurs tels que les facteurs socioéconomiques et les modes de vie n'ont jusqu'ici jamais été explorées. Par ailleurs, il serait nécessaire d'explorer des profils individuels spécifiques aux sensations de gras-salé et de gras-sucré comparés à ceux associés à l'attirance pour le gras.

Dans ce travail, l'objectif était d'examiner les associations entre l'attirance pour les sensations de gras-salé et de gras-sucré et les caractéristiques démographiques, socioéconomiques, psychologiques, de mode de vie et de santé.

Les données d'attirance sensorielle ont été collectées avec le questionnaire PrefQuest en Mai 2010, les caractéristiques individuelles avec les questionnaires administrés à l'inclusion des participants de la cohorte inclus avant Mai 2010 et les facteurs psychologiques à l'aide du Three-Factor Eating Questionnaire administré en Juillet 2010. Les scores d'attirance pour le gras-salé et gras-sucré ont été catégorisés en quartiles sexe-spécifiques afin d'étudier les caractéristiques associées aux sujets fortement attirés plus « à risque » (Quartile 4) comparés aux sujets faiblement attirés (Quartile 1). Des analyses de régression logistique multinomiale ont été menées sur 37 181 sujets, chez les hommes (H) et chez les femmes (F) séparément, permettant de quantifier les associations avec des rapports de côtes (RC).

Les ouvriers et employés (H: RC=1,39 IC<sub>95%</sub> [1,16;1,67]; F: RC=1,28 IC<sub>95%</sub> [1,16;1,41]), les sujets ayant des épisodes d'alimentation incontrôlée (H: RC=2,90 [2,60;3,23]; F: RC=2,73 [2,27;3,30]) et les individus obèses (H: RC=1,45 [1,14;1,84]; F: RC=1,47 [1,29;1,68]) étaient plus susceptibles d'être fortement attirés par la sensation de gras-sucré comparés respectivement aux cadres, à ceux ayant peu d'épisodes d'alimentation incontrôlée et aux sujets normo-pondéraux. En revanche, les sujets âgés (H: RC=0,13 [0,10;0,16]; F: RC=0,11



[0,09;0,14]) et les individus fortement restreints (H: RC=0,52 [0,44;0,63]; F: RC=0,60 [0,55;0,66]) étaient moins enclins à être fortement attirés par le gras-sucré, comparés respectivement aux plus jeunes et à ceux qui sont peu restreints. Concernant la sensation gras-salé, des associations similaires avec les caractéristiques précédemment citées ont été mises en évidence. Par ailleurs, les femmes qui suivaient un régime étaient plus susceptibles d'être fortement attirées par les sensations de gras-salé (RC=1,28 [1,18;1,39]) et de gras-sucré (RC=1,33 [1,23;1,44]), alors que celles qui avaient suivi un régime dans le passé étaient moins enclines à être attirées par le gras-salé (RC=0,78 [0,72;0,85]). Des associations plus spécifiques ont également été mises en évidence selon la sensation considérée. Les fumeurs (H: RC=1,83 [1,48;2,27]; F: RC=1,44 [1,29;1,60]) et les forts consommateurs d'alcool (H: RC=2,88 [2,31;3,58]; F: RC=2,70 [2,31;3,14]) étaient plus susceptibles d'être fortement attirés par la sensation de gras-salé que les non-fumeurs et les non-consommateurs d'alcool. Concernant le gras-sucré, les femmes présentant une forte émotionnalité alimentaire étaient plus susceptibles d'être fortement attirées (RC=1,69 [1,47;1,95]) comparées à celles ne présentant pas d'émotionnalité alimentaire.

Ces résultats permettent d'identifier les profils individuels associés à une forte attirance pour la sensation de gras et également des caractéristiques spécifiques liées à l'attirance pour le gras-salé et le gras-sucré. Ainsi, les catégories socio-professionnelles moins favorisées, les régimes amaigrissants et le surpoids sont associés à une forte attirance pour le gras. Plus spécifiquement, une forte attirance pour le gras-salé est en lien avec le tabagisme et une forte consommation d'alcool. Ces résultats sont concordants avec une étude menée sur les caractéristiques individuelles associées aux consommations de produits gras-sucrés et gras-salés (Mejean, 2011).

Les associations entre les caractéristiques individuelles et l'attirance pour les sensations de gras-salé et de gras-sucré fournissent de nouvelles informations utiles dans la compréhension du schéma global des déterminants du comportement alimentaire, des consommations alimentaires et du statut pondéral.

Lampuré A, Deglaire A, Schlich P, Castetbon K, Péneau S, Hercberg S, Méjean C. **Liking for fat is associated with sociodemographic, psychological, lifestyle and health characteristics.** *British Journal of Nutrition* (2014), 112, 1353-1363.



## Liking for fat is associated with sociodemographic, psychological, lifestyle and health characteristics

Aurélie Lampuré<sup>1\*</sup>, Amélie Deglaire<sup>2,3</sup>, Pascal Schlich<sup>2</sup>, Katia Castetbon<sup>1,4</sup>, Sandrine Péneau<sup>1</sup>, Serge Herberg<sup>1,4,5</sup> and Caroline Méjean<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Université Paris 13, Sorbonne Paris Cité, Equipe de Recherche en Epidémiologie Nutritionnelle (EREN), Centre d'Epidémiologie et Biostatistiques Paris Nord, Inserm (U1153), Inra (U1125), Cnam, Université Paris 5, Université Paris 7, UREN, SMBH Paris 13, 74 rue Marcel Cachin, F-93017 Bobigny Cedex, France

<sup>2</sup>Centre des Sciences du Goût et de l'Alimentation, UMR6265 CNRS/UMR1324 INRA/Université de Bourgogne, Dijon, France

<sup>3</sup>Agrocampus Ouest – UMR1253 Inra Science et Technologie du Lait et de l'Œuf, Rennes, France

<sup>4</sup>Université Paris 13, Sorbonne Paris Cité, Unité de Surveillance et d'Epidémiologie Nutritionnelle (USEN), Institut de Veille Sanitaire (InVS), Département Maladies Chroniques et Traumatisme, Bobigny, France

<sup>5</sup>Department of Public Health, Hôpital Avicenne, Bobigny, France

(Submitted 29 January 2014 – Final revision received 6 June 2014 – Accepted 20 June 2014 – First published online 5 September 2014)

### Abstract

Sensory liking influences dietary behaviour, but little is known about specifically associated individual profiles. The aim of the present study was to investigate the associations between liking for fat-and-salt and fat-and-sweet sensations and sociodemographic, economic, psychological, lifestyle and health characteristics in a large sample. Individual characteristics and liking scores were collected by a questionnaire among 37 181 French adults. Liking scores were constructed using a validated preference questionnaire. Multinomial logistic regression models were used to assess the associations between liking levels and individual characteristics. In both sexes, subjects belonging to low-level occupational categories (OR 1.39, 95% CI 1.16, 1.67 in men; OR 1.28, 95% CI 1.16, 1.41 in women), highly uncontrolled eaters (men: OR 2.90, 95% CI 2.60, 3.23; women: OR 2.73, 95% CI 2.27, 3.30) and obese subjects (men: OR 1.45, 95% CI 1.14, 1.84; women: OR 1.47, 95% CI 1.29, 1.68) were more likely to have a strong liking for the fat-and-sweet sensation, whereas older individuals (men: OR 0.13, 95% CI 0.10, 0.16; women: OR 0.11, 95% CI 0.09, 0.14) and highly cognitive restrainers (men: OR 0.52, 95% CI 0.44, 0.63; women: OR 0.60, 95% CI 0.55, 0.66) were less likely to have a strong liking. Regarding liking for the fat-and-salt sensation, the same associations were found and specific relationships were also highlighted: current smokers and heavy drinkers were more likely to strongly prefer the fat-and-salt sensation compared with non-smokers and abstainers or irregular alcohol consumers. The relationship between individual characteristics and a liking for fat sensation provides new and original information that may be useful for a better understanding of the associations between sensory liking and individual behaviour.

**Key words:** Dietary determinants: Liking: Fat: Sociodemographic factors: Psychological factors

Overconsumption of fatty foods has been identified as a risk factor in major chronic diseases, including CVD, diabetes and obesity<sup>(1)</sup>. Moreover, fat contributes to eating pleasure through its sensory properties, and influences food choices and dietary intake<sup>(2–4)</sup>. Taste ranks first among the reasons for individual food and beverage choices, ahead of price, health or convenience<sup>(5)</sup>; individual sensory liking thus appears to be an important determinant of dietary intake<sup>(6–10)</sup>. According to Mela<sup>(11)</sup>, liking is defined as a qualitative hedonic evaluation of a food: the degree of pleasure or displeasure experienced. In the present study, we examined overall liking for sensory sensations measured via an original questionnaire.

In order to better understand the framework in which taste sensitivity, sensory liking, dietary intake and other

characteristics interact with one another, it is useful to identify individual factors associated with liking for fat. Indeed, few previous studies<sup>(8,12–15)</sup> explored the relationship between liking for fat and specific individual characteristics.

Available studies have shown that a strong liking for fat was associated with weaker cognitive restraint in an obese population<sup>(14)</sup> and highly uncontrolled eating among dieters<sup>(15)</sup>. Moreover, positive associations have been shown between liking for fat and cardiovascular risk factors such as BMI and blood pressure<sup>(8,12,13)</sup>. No significant association has been found between liking for fat and sex or age<sup>(2,16)</sup>.

Major limitations of previous studies included a small sample size and the absence of demographic heterogeneity in the study population (children, females and dieters), which restricts

\*Corresponding author: A. Lampuré, fax +33 1 48 38 89 31, email a.lampure@uren.smbh.univ-paris13.fr



variability in terms of liking and individual factors. Moreover, associations between liking for fat and lifestyle, socio-economic characteristics and health status have not been previously studied, even though these factors are strongly associated with taste sensitivity or dietary intake<sup>(17,18)</sup>. Finally, no study has separately considered liking for fat-and-salt and fat-and-sweet sensations, and yet we assume that specific associations might exist, such as uncontrolled eating associated with fatty-salted food consumption, and emotional eating associated with fatty-sweetened food<sup>(19)</sup>.

The aim of the present study was to investigate the associations between liking for fat-and-salt and fat-and-sweet sensations and sociodemographic, economic, psychological, lifestyle and health characteristics in a large sample of French adults.

## Subjects and methods

### Study population

We used data from the NutriNet-Santé Study, a large Web-based observational cohort launched in France in May 2009 with a scheduled follow-up period of 10 years. It was implemented in a general population and targeted Internet-using adult volunteers aged 18 years or older. The study was designed to investigate the relationship between nutrition and health (incidence of IHD, cancer and all-cause mortality), as well as the determinants of dietary behaviour and nutritional status. The design, methods and rationale have been described elsewhere<sup>(20)</sup>. Briefly, in order to be included in the cohort, participants had to fill out an initial set of questionnaires assessing dietary intake, physical activity, anthropometry, lifestyle, socio-economic conditions and health status. As part of their follow-up, the participants complete the same set of questionnaires every year. Moreover, each month, they were invited to fill out complementary questionnaires related to the determinants of food behaviour, nutritional and health status. The present study was conducted according to the guidelines laid down in the Declaration of Helsinki, and all procedures were approved by the Institutional Review Board of the French Institute for Health and Medical Research (IRB Inserm no. 0000388FWA0005831) and the 'Commission Nationale Informatique et Libertés' (CNIL no. 908450 and 909216). Electronic informed consent was obtained from all subjects (EudraCT no. 2013-000929-31).

### Data collection

*Assessment of liking for fat-and-salt and fat-and-sweet sensations.* Liking for fat-and-salt and fat-and-sweet sensations was assessed using the PrefQuest, an original Web-based questionnaire which was internally validated using factor analyses<sup>(21)</sup>. This questionnaire also permitted the evaluation of liking for salt and sweet sensations. In May 2010, 65 683 participants were invited to complete this questionnaire on the 'NutriNet-Santé' website (<https://www.etude-nutrinet-sante.fr/>) available online for 6 months. The development and validation of the questionnaire has been described elsewhere<sup>(21)</sup>. Briefly, eighty-three relevant items were divided into liking for salt

(eleven items), sweet (twenty-one items), fat-and-salt (thirty-one items) and fat-and-sweet (twenty items) sensations. The questionnaire included four types of items: (1) liking for sweets, fatty-sweet and fatty-salty foods, rated on a 9-point hedonic scale; (2) preferred level of salt, sweet, fat-and-salt or fat-and-sweet seasoning, measured on a 5- or 6-point scale; (3) preferred drinks (sweet/sweetened or unsweetened) on a restaurant menu; and (4) eating behaviour regarding sweet, salty and fatty food, measured on a 5- or 9-point scale. For most items, subjects also had the option of checking a non-applicable answer, such as 'I have never tasted (this food)' or 'I do not like (this food)'.

*Assessment of sociodemographic, economic, psychological, lifestyle, anthropometric and health data.* Sociodemographic, economic, lifestyle, anthropometric and self-reported health data were collected at baseline with the initial set of questionnaires. Psychological data were collected 14 months after inclusion using the Three-Factor Eating Questionnaire, which is a self-assessment instrument of eating behaviour<sup>(22)</sup> (its completion was optional). The revised version was selected (Three-Factor Eating Questionnaire-R21) and covers three eating behaviour domains: the cognitive restraint scale (six items); the emotional eating scale (six items); the uncontrolled eating scale (nine items)<sup>(23)</sup>.

### Statistical analysis

The present analysis focused on subjects living in metropolitan France and included in the NutriNet-Santé cohort who had completed the initial set of questionnaires, the PrefQuest and the Three-Factor Eating Questionnaire. All analyses were performed separately for men and women because most interactions between sex and individual characteristics were significant ( $P < 0.05$ ).

The calculation of liking scores for the fat-and-salt and fat-and-sweet sensations has been detailed previously<sup>(21)</sup>. Factor analyses demonstrated that the fat-and-salt and fat-and-sweet sensations were multidimensional and presented a hierarchical factorial structure. The fat-and-salt sensation was composed of two compounding factors, 'added fat-and-salt' and 'fatty-salty foods' (based on 'meats', 'cheese products' and 'savoury snacks'); the fat-and-sweet sensation was composed of two compounding factors, 'added fat-and-sweet' and 'fatty-sweet foods' (based on 'pastries and desserts', 'chocolate spread' and 'chocolate desserts'). Since we used different hedonic scales in the questionnaire (from 5 to 9 points), all data were linearly transformed into values ranging from 0 to 10 so as to standardise the ratings. First, for each participant, liking scores of each factor composing a sensation were calculated by summing the ratings of the items belonging to the factor and dividing by the number of items of this factor. Next, overall liking scores of a sensation were computed by averaging the liking scores of the compounding factors. If a responder had more than 25% of non-applicable answers, i.e. 'I have never tasted (this food)' or 'I do not like (this food)' for a given sensation, the corresponding liking score was not computed and was excluded from the analysis. If a responder had 25% of non-applicable answers or less, an imputation was performed for these missing values.



Non-applicable answers were estimated within each sensation by adding the mean of all ratings of the subject to the mean of all ratings of the given item in the sample, and then subtracting by the mean of all ratings of the sensation in the sample<sup>(21)</sup>. Quartiles of the score for fat-and-sweet and fat-and-salt sensations were computed and defined from quartile 1 'low liking' to quartile 4 'high liking'.

We categorised sociodemographic and economic variables as follows: sex (men, women); age by quartiles (male: <40, 40–54, 54–63, >63 years; female: <32, 32–44, 44–56, >56 years); matrimonial status (single, couple, married, divorced/widowed); having at least one child (yes, no); living area (rural, urban <20 000 inhabitants, urban ≥20 000 inhabitants, urban ≥100 000 inhabitants, Paris); educational level (elementary school, secondary school, college graduate, advanced degree, other); occupational category (never worked, farmers/self-employed, manual workers/employees, intermediate profession, managerial staff); income per consumption unit (<900, 900–1800, 1800–2700, >2700€, refused to answer). Regarding cognitive restraint and uncontrolled eating, according to tertiles, categories were created: low; medium; high. As the emotional eating variable was not normally distributed, we categorised it into three classes using the median: no emotional eating; low emotional eating; high emotional eating.

According to French recommendations<sup>(24)</sup>, male drinkers were categorised as abstainers and irregular consumers (≤4 g alcohol/d), moderate (>4 and ≤30 g alcohol/d) or heavy drinkers (>30 g alcohol/d), and females as abstainers and irregular consumers (≤3 g alcohol/d), moderate (>3 and ≤20 g alcohol/d) or heavy drinkers (>20 g alcohol/d). Smoking status was classified into three categories: never smoker; former smoker; current smoker. We also assessed current dieting (yes, no) and past dieting (yes, no). Normal weight, overweight and obesity were defined according to the WHO classification for BMI, as BMI <25 kg/m<sup>2</sup> (normal weight), 25 ≤ BMI <30 kg/m<sup>2</sup> (overweight) and BMI ≥30 kg/m<sup>2</sup> (obese)<sup>(25)</sup>, and self-reported health problems listed were type 1 and type 2 diabetes, hypertension, hypertriglycerolaemia and hypercholesterolaemia. Menopause (yes, no, no answer) and pregnancy status (yes, no) were also recorded.

Comparisons between included and excluded participants and sex comparisons were performed using Student's *t* test and the  $\chi^2$  test. First, in order to use ordinal logistic regression, we tested the hypothesis of proportionality of OR, but the latter was not valid. Therefore, associations of liking for fat-and-sweet and fat-and-salt sensations with all individual characteristics were assessed by multinomial logistic regression analysis (common reference: quartile 1

'low liking') stratified by sex. Univariate logistic regressions were performed by calculating OR and 95% CI to determine the strength of the associations between liking and each explanatory variable. According to the literature and our hypotheses, interaction effects between age and cognitive restraint<sup>(19,26)</sup>, age and smoking status and age and alcohol consumption<sup>(27)</sup> were also examined. Only explanatory variables and interaction terms associated with liking at the 0.1 significance level were retained for inclusion in the initial multivariate model. Subsequently, using stepwise backward elimination, multivariate logistic regression models were constructed. Variables were removed from the model one by one using a *P* value >0.05 for exclusion. Variables whose exclusion from the model caused large fluctuations in OR (>10%), as well as variables whose exclusion gave rise to significant likelihood ratio tests (*P*<0.05) were re-entered into the model. Data management and statistical analyses were performed using SAS software (version 9.3; SAS Institute, Inc.). A *P* value <0.05 was considered statistically significant.

## Results

Among the 65 683 participants in the NutriNet-Santé Study in May 2010, 49 066 had responded to the PrefQuest, i.e. a 75% participation rate. Among the responders, 24% were excluded (*n* 11 885) because they were non-responders to the Three-Factor Eating Questionnaire (*n* 10 481), had non-applicable data for a sensation (*n* 822) or had missing data for BMI, living area or alcohol consumption (*n* 582), leaving 37 181 subjects available for analysis (28 504 women and 8677 men). Compared with excluded subjects, included subjects were older (46 *v.* 41 years, *P*<0.0001), the proportion of men was higher (23 *v.* 21%, *P*<0.0001), the proportion of subjects with high incomes was higher (26 *v.* 21%, *P*<0.0001) and the proportion of smokers was lower (15 *v.* 20%, *P*<0.0001) (data not shown).

For women and men, fat-and-salt-liking scores ranged from 0 to 9.48 with a mean of 3.9 (SD 1.4) and from 0 to 9.82 with a mean of 4.2 (SD 1.4), respectively, while fat-and-sweet-liking scores ranged from 0 to 9.92 with a mean of 3.8 (SD 1.8) and from 0 to 10 with a mean of 3.7 (SD 1.8), respectively. All results mentioned below were statistically significant. Men had a significantly higher liking score for the fat-and-salt sensation than women, while the opposite was observed for the fat-and-sweet sensation (Table 1). Regarding individual characteristics, women were younger and had higher psychological scores, while men had higher BMI (Table 2). The proportions of married men, those who had at least one

**Table 1.** Quartiles of liking scores for the fat-and-salt and fat-and-sweet sensations (Mean values and standard deviations)

Liking scores	Sex	Mean	sd	Quartile 1 (low liking)	Quartile 2	Quartile 3	Quartile 4 (high liking)
Fat-and-salt sensation	Women	3.9	1.4	0.00, 2.88	2.88, 3.85	3.85, 4.83	4.83, 9.48
	Men	4.2	1.4	0.00, 3.20	3.20, 4.17	4.17, 5.11	5.11, 9.82
Fat-and-sweet sensation	Women	3.8	1.8	0.00, 2.48	2.48, 3.52	3.52, 4.84	4.84, 9.92
	Men	3.7	1.8	0.00, 2.41	2.41, 3.44	3.44, 4.80	4.80, 10.00





**Table 2.** Individual characteristics of the sample (*n* 37 181, NutriNet-Santé cohort, 2009–2010)  
(Mean values, standard deviations or percentages)

Variables	Men ( <i>n</i> 8677)	Women ( <i>n</i> 28 504)	<i>P</i>
Age (years)			<0.0001
Mean	51.9	44.4	
sd	14.5	13.9	
Matrimonial status (%)			<0.0001
Single	12.7	17.0	
Couple	17.0	23.1	
Married	62.7	49.5	
Divorced/widowed	7.6	10.4	
Having at least one child (%)	74.1	65.7	<0.0001
Living area (%)			0.04
Rural	21.4	21.7	
Urban < 20 000 inhabitants	15.8	14.7	
Urban ≥ 20 000 inhabitants	12.5	12.0	
Urban ≥ 100 000 inhabitants	32.0	33.1	
Paris	18.3	18.5	
Educational level (%)			<0.0001
Elementary school	4.0	2.9	
Secondary school	36.3	33.6	
College graduate	22.9	32.1	
Advanced degree	36.1	30.7	
Missing data	0.7	0.7	
Occupational category (%)			<0.0001
Never worked	2.4	5.0	
Farmer/self-employed/entrepreneur	5.2	2.8	
Manual worker/employee	17.2	34.7	
Intermediate profession	23.8	28.2	
Managerial staff	51.4	29.3	
Income (€) (%)			<0.0001
< 900	6.2	10.8	
900–1800	30.3	33.6	
1800–2700	26.3	24.9	
> 2700	33.6	23.7	
Missing data	3.6	7.0	
Cognitive restraint			<0.0001
Mean	38.7	44.3	
sd	20.0	30.3	
Uncontrolled eating			<0.0001
Mean	27.6	30.3	
sd	17.8	18.2	
Emotional eating			<0.0001
Mean	26.6	43.5	
sd	23.7	27.2	
Alcohol consumption (%)			<0.0001
Abstainer and irregular consumer	30.3	55.4	
Moderate drinker (women: ≤20 g/d; men: ≤30 g/d)	55.4	38.0	
Heavy drinker (women: >20 g/d; men: >30 g/d)	14.3	6.6	
Smoking status (%)			<0.0001
Never smoker	40.6	52.1	
Former smoker	45.7	32.5	
Current smoker	13.7	15.4	
BMI (kg/m <sup>2</sup> )			<0.0001
Mean	25.2	23.5	
sd	3.9	4.6	
Current dieter (%)	35.1	47.7	<0.0001
Former dieter (%)	25.6	53.6	<0.0001
Menopause (%)			-
No	-	60.8	
Yes	-	35.0	
Missing data	-	4.2	
Pregnancy (%)	-	2.0	-
Hypertension (%)	18.0	8.5	<0.0001
Type 1 diabetes (%)	1.0	0.4	<0.0001
Type 2 diabetes (%)	3.9	1.1	<0.0001
Hypercholesterolaemia (%)	16.2	7.9	<0.0001
Hypertriglycerolaemia (%)	3.8	1.1	<0.0001

child and those who belonged to a high-level occupational category were higher than in women (Table 2).

*Individual characteristics associated with liking for the fat-and-salt sensation*

For greater clarity of results, only multivariate results from the 'high liking' level (fourth quartile) were reported here, and we defined this as the 'high risk' group. In men, age was negatively associated with a strong liking for the fat-and-salt sensation (Table 3). Women who had at least one child were more likely to have a strong liking for the fat-and-salt sensation (Table 4). Men and women with low income and women belonging to a low-level occupational

category were more likely to have a high liking for the fat-and-salt sensation compared with those with higher income or a managerial position (Tables 3 and 4). In addition, current smokers and heavy drinkers were more likely to have a stronger liking for this sensation than never smokers, abstainers or irregular alcohol consumers.

Regarding psychological characteristics, men and women with highly uncontrolled eating were more likely to strongly prefer the fat-and-salt sensation than less uncontrolled eaters (Tables 3 and 4). Moreover, men with high cognitive restraint were less likely to have a strong liking for the fat-and-salt sensation than low cognitive restrainers. In women, a significant interaction between age and cognitive restraint was found. In stratified models by age, women with high cognitive

**Table 3.** Multivariate multinomial logistic analysis of the associations between sociodemographic, economic, psychological, lifestyle, anthropometric and health characteristics and levels of liking for the fat-and-salt sensation in men (*n* 8677, NutriNet-Santé cohort, 2009–2010) (Odds ratios and 95% confidence intervals)

Variables	Men ( <i>n</i> 8677)						P*
	Quartile 2		Quartile 3		Quartile 4 (high liking)		
	OR	95% CI	OR	95% CI	OR	95% CI	
Age (years)							<0.0001
< 40	1		1		1		
40–54	0.70	0.57, 0.86	0.50	0.41, 0.62	0.41	0.34, 0.50	
54–63	0.46	0.37, 0.56	0.28	0.22, 0.34	0.21	0.17, 0.26	
> 63	0.47	0.38, 0.58	0.32	0.26, 0.40	0.19	0.16, 0.24	
Living area							0.002
Paris	1		1		1		
Urban ≥100 000 inhabitants	0.94	0.78, 1.13	0.77	0.64, 0.93	0.81	0.67, 0.98	
Urban ≥20 000 inhabitants	0.90	0.72, 1.13	0.88	0.70, 1.11	0.83	0.65, 1.06	
Urban <20 000 inhabitants	0.78	0.63, 0.96	0.87	0.71, 1.08	0.74	0.59, 0.92	
Rural	1.10	0.89, 1.34	1.10	0.89, 1.34	0.98	0.79, 1.21	
Income (€)							0.003
> 2700	1		1		1		
1800–2700	0.99	0.85, 1.16	1.03	0.88, 1.21	1.03	0.87, 1.22	
900–1800	1.16	0.99, 1.36	1.16	0.99, 1.37	1.37	1.16, 1.62	
< 900	0.86	0.64, 1.16	1.01	0.75, 1.35	1.38	1.04, 1.84	
Missing data	0.87	0.62, 1.20	0.92	0.66, 1.28	0.81	0.57, 1.17	
Cognitive restraint							<0.0001
Low	1		1		1		
Medium	0.85	0.71, 1.00	0.71	0.60, 0.84	0.54	0.45, 0.64	
High	0.59	0.50, 0.70	0.49	0.41, 0.58	0.29	0.24, 0.35	
Uncontrolled eating							<0.0001
Low	1		1		1		
Medium	1.27	1.08, 1.48	1.50	1.28, 1.77	1.81	1.52, 2.15	
High	1.72	1.44, 2.06	2.48	2.07, 2.97	3.50	2.90, 4.23	
Emotional eating							0.003
No	1		1		1		
Low	0.84	0.71, 0.99	1.03	0.87, 1.22	0.86	0.72, 1.03	
High	1.05	0.87, 1.26	0.96	0.80, 1.17	0.95	0.78, 1.16	
Alcohol consumption							<0.0001
Abstainer and irregular consumer	1		1		1		
Moderate drinker (women: ≤20 g/d; men: ≤30 g/d)	1.38	1.21, 1.59	1.59	1.38, 1.83	1.71	1.47, 1.97	
Heavy drinker (women: >20 g/d; men: >30 g/d)	1.90	1.54, 2.35	2.30	1.86, 2.85	2.88	2.31, 3.58	
Smoking status							<0.0001
Never smoker	1		1		1		
Former smoker	1.16	1.01, 1.34	1.10	0.96, 1.27	1.04	0.90, 1.21	
Current smoker	1.25	1.00, 1.55	1.56	1.26, 1.94	1.83	1.48, 2.27	
BMI (kg/m <sup>2</sup> )							<0.0001
< 25 (normal)	1		1		1		
≥ 25 and < 30 (overweight)	1.26	1.10, 1.45	1.35	1.17, 1.55	1.63	1.41, 1.89	
≥ 30 (obese)	1.40	1.11, 1.77	1.85	1.47, 2.33	2.30	1.82, 2.90	

\* Multinomial logistic regression analysis was performed using the common reference (quartile 1 'low liking').



**Table 4.** Multivariate multinomial logistic analysis of the associations between sociodemographic, economic, psychological, lifestyle, anthropometric and health characteristics and levels of liking for the fat-and-salt sensation in women (*n* 28 504, NutriNet-Santé cohort, 2009–2010) (Odds ratios and 95% confidence intervals)

Variables	Women ( <i>n</i> 28 504)						<i>P</i> *
	Quartile 2		Quartile 3		Quartile 4 (high liking)		
	OR	95% CI	OR	95% CI	OR	95% CI	
<b>Matrimonial status</b>							0.04
Single	1		1		1		
Couple	0.99	0.87, 1.13	0.93	0.82, 1.05	1.06	0.94, 1.20	
Married	1.00	0.88, 1.14	0.98	0.86, 1.12	0.95	0.83, 1.09	
Divorced/widowed	0.93	0.80, 1.08	0.92	0.78, 1.08	0.88	0.75, 1.04	
Having at least one child (yes <i>v.</i> no)	1.29	1.16, 1.44	1.29	1.15, 1.44	1.45	1.29, 1.63	< 0.0001
<b>Occupational category</b>							0.002
Managerial staff	1		1		1		
Intermediate profession	1.17	1.07, 1.28	1.12	1.02, 1.22	1.14	1.04, 1.26	
Manual worker/employee	1.16	1.05, 1.27	1.11	1.01, 1.22	1.20	1.09, 1.33	
Farmer/self-employed/entrepreneur	0.87	0.71, 1.07	0.96	0.78, 1.19	1.00	0.80, 1.25	
Never worked	1.05	0.86, 1.29	1.07	0.88, 1.31	1.27	1.05, 1.55	
<b>Income (€)</b>							0.004
> 2700	1		1		1		
1800–2700	0.97	0.88, 1.06	1.01	0.91, 1.12	1.11	1.00, 1.23	
900–1800	0.93	0.84, 1.14	1.07	0.97, 1.19	1.16	1.04, 1.30	
< 900	0.89	0.77, 1.03	0.98	0.85, 1.14	1.12	0.96, 1.30	
Missing data	0.87	0.76, 1.01	0.90	0.77, 1.04	0.94	0.81, 1.11	
<b>Uncontrolled eating</b>							< 0.0001
Low	1		1		1		
Medium	1.35	1.24, 1.47	1.57	1.44, 1.72	2.01	1.82, 2.23	
High	1.78	1.61, 1.97	2.45	2.20, 2.72	4.18	3.74, 4.68	
<b>Emotional eating</b>							< 0.0001
No	1		1		1		
Low	1.05	0.94, 1.18	1.13	1.00, 1.28	0.92	0.81, 1.04	
High	1.14	1.00, 1.29	1.16	1.01, 1.33	0.96	0.83, 1.11	
<b>Alcohol consumption</b>							< 0.0001
Abstainer and irregular consumer	1		1		1		
Moderate drinker (women: ≤ 20 g/d; men: ≤ 30 g/d)	1.41	1.31, 1.51	1.56	1.45, 1.68	1.71	1.58, 1.85	
Heavy drinker (women: > 20 g/d; men: > 30 g/d)	1.63	1.40, 1.89	2.11	1.81, 2.46	2.70	2.31, 3.14	
<b>Smoking status</b>							< 0.0001
Never smoker	1		1		1		
Former smoker	0.95	0.88, 1.02	0.94	0.87, 1.01	0.97	0.89, 1.05	
Current smoker	1.14	1.02, 1.27	1.20	1.07, 1.33	1.44	1.29, 1.60	
<b>Current dieter (yes <i>v.</i> no)</b>	1.13	1.05, 1.22	1.22	1.12, 1.31	1.28	1.18, 1.39	< 0.0001
<b>Former dieter (yes <i>v.</i> no)</b>	0.89	0.82, 0.96	0.85	0.78, 0.92	0.78	0.72, 0.85	< 0.0001
<b>BMI (kg/m<sup>2</sup>)</b>							< 0.0001
< 25 (normal)	1		1		1		
≥ 25 and < 30 (overweight)	1.40	1.27, 1.54	1.52	1.37, 1.67	1.59	1.43, 1.76	
≥ 30 (obese)	1.67	1.45, 1.92	1.86	1.62, 2.15	2.30	1.99, 2.65	
<b>Menopause</b>							< 0.0001
No	1		1		1		
Yes	1.22	0.92, 1.61	1.43	1.09, 1.87	1.42	1.09, 1.86	
Missing data	0.85	0.76, 0.96	0.76	0.67, 0.86	0.70	0.61, 0.80	
<b>Pregnancy (yes <i>v.</i> no)</b>	1.49	1.00, 2.21	1.56	1.07, 2.29	1.75	1.20, 2.57	0.04
<b>Hypertension (yes <i>v.</i> no)</b>	1.08	0.96, 1.22	1.20	1.06, 1.36	1.12	0.98, 1.29	0.046
<b>Age x cognitive restraint</b>							< 0.0001

\* Multinomial logistic regression analysis was performed using the common reference (quartile 1 'low liking').

restraint were less likely to have a strong liking than those with low cognitive restraint, and this relationship was stronger in young women (data not shown).

Compared with non-dieters, women who were currently dieting were more likely to have a strong liking for the fat-and-salt sensation, while women who had already dieted at least once (former dieters) were less likely to have a strong liking. In both sexes, obese and overweight individuals were more likely to strongly prefer the fat-and-salt sensation than

those with normal corpulence. Pregnant and postmenopausal women were also more likely to have a strong liking for the fat-and-salt sensation (Table 4).

#### *Individual characteristics associated with liking for the fat-and-sweet sensation*

In both sexes, age was negatively associated with a strong liking for the fat-and-sweet sensation (Tables 5 and 6).



**Table 5.** Multivariate multinomial logistic analysis of the associations between sociodemographic, economic, psychological, lifestyle, anthropometric and health characteristics and levels of liking for the fat-and-sweet sensation in men (*n* 8677, NutriNet-Santé cohort, 2009–2010) (Odds ratios and 95% confidence intervals)

Variables	Men ( <i>n</i> 8677)						<i>P</i> *
	Quartile 2		Quartile 3		Quartile 4 (high liking)		
	OR	95% CI	OR	95% CI	OR	95% CI	
Age (years)							<0.0001
<40	1		1		1		
40–54	0.56	0.44, 0.71	0.42	0.34, 0.53	0.37	0.29, 0.46	
54–63	0.34	0.27, 0.43	0.24	0.19, 0.30	0.16	0.13, 0.21	
>63	0.27	0.22, 0.35	0.18	0.14, 0.23	0.13	0.10, 0.16	
Having at least one child (yes v. no)	1.23	1.03, 1.47	1.08	0.91, 1.29	1.00	0.84, 1.19	0.04
Occupational category							<0.0001
Managerial staff	1		1		1		
Intermediate profession	0.97	0.83, 1.12	1.10	0.94, 1.28	1.21	1.03, 1.42	
Manual worker/employee	0.86	0.72, 1.04	1.16	0.97, 1.39	1.39	1.16, 1.67	
Farmer/self-employed/entrepreneur	0.93	0.71, 1.21	1.02	0.78, 1.34	1.03	0.77, 1.38	
Never worked	2.05	0.89, 4.76	3.04	1.36, 6.80	3.32	1.50, 7.36	
Cognitive restraint							<0.0001
Low	1		1		1		
Medium	1.03	0.88, 1.22	0.87	0.74, 1.03	0.75	0.63, 0.89	
High	0.89	0.75, 1.06	0.70	0.59, 0.84	0.52	0.44, 0.63	
Uncontrolled eating							<0.0001
Low	1		1		1		
Medium	1.20	1.03, 1.40	1.38	1.18, 1.63	1.60	1.34, 1.91	
High	1.41	1.18, 1.68	1.74	1.45, 2.08	2.73	2.27, 3.30	
Emotional eating							0.008
No	1		1		1		
Low	1.15	0.98, 1.35	1.22	1.03, 1.44	0.98	0.82, 1.17	
High	1.21	1.00, 1.45	1.39	1.15, 1.68	1.20	0.99, 1.46	
Alcohol consumption							0.02
Abstainer and irregular consumer	1		1		1		
Moderate drinker (women: ≤20 g/d; men: ≤30 g/d)	1.20	1.04, 1.38	1.12	0.98, 1.30	1.01	0.87, 1.16	
Heavy drinker (women: >20 g/d; men: >30 g/d)	1.28	1.06, 1.56	1.09	0.89, 1.33	0.93	0.76, 1.15	
BMI (kg/m <sup>2</sup> )							0.0009
<25 (normal)	1		1		1		
≥25 and <30 (overweight)	1.09	0.95, 1.25	1.22	1.06, 1.41	1.32	1.14, 1.54	
≥30 (obese)	0.97	0.77, 1.23	1.23	0.97, 1.55	1.45	1.14, 1.84	
Former dieter (yes v. no)	0.81	0.70, 0.95	0.87	0.74, 1.02	0.96	0.82, 1.13	0.03
Hypertension (yes v. no)	0.90	0.77, 1.06	0.83	0.70, 0.98	0.72	0.60, 0.86	0.003
Hypertriglycerolaemia (yes v. no)	0.83	0.62, 1.11	0.66	0.48, 0.90	0.52	0.37, 0.75	0.002

\* Multinomial logistic regression analysis was performed using the common reference (quartile 1 'low liking').

Compared with women without children, those who had at least one child were more likely to have a strong liking for the fat-and-sweet sensation. In addition, women with low income and men and women belonging to a low-level occupational category were more likely to strongly prefer the fat-and-sweet sensation than individuals with high income or a managerial position.

Men and women with high cognitive restraint were less likely to have a strong liking for the fat-and-sweet sensation compared with low cognitive restrainers, while subjects with highly uncontrolled eating or high emotional eating were more likely to have a strong liking. In addition, women who were currently dieting were more likely to have a strong liking compared with non-dieters. In both sexes, overweight and obese participants were more likely to have a strong liking for the fat-and-sweet sensation compared with those of normal weight.

Postmenopausal women were also more likely to have a strong liking for this sensation compared with non-menopausal

women (Table 6). Men who declared that they had hypertriglycerolaemia or hypertension were less likely to have a strong liking for the fat-and-sweet sensation than those without the diseases (Table 5).

## Discussion

The present findings help to identify specific individual profiles associated with a strong liking for fat. To our knowledge, no study has investigated simultaneously the relationships between liking for fat-and-salt and fat-and-sweet sensations and various associated factors. Biological and physiological factors such as BMR, fat oxidation and insulin sensitivity, and also behavioural characteristics such as size of eating episode, frequency of eating and level of hunger have allowed to define the high-fat phenotype, according to Blundell & Cooling<sup>(28)</sup>. The originality of the present study is the distinction between fat-and-salt and fat-and-sweet sensations. Our findings thus allowed highlighting not only common factors associated with



**Table 6.** Multivariate multinomial logistic analysis of the associations between sociodemographic, economic, psychological, lifestyle, anthropometric and health characteristics and levels of liking for the fat-and-sweet sensation in women (*n* 28 504, NutriNet-Santé cohort, 2009–2010)

(Odds ratios and 95% confidence intervals)

Variables	Women ( <i>n</i> 28 504)						<i>P</i> *
	Quartile 2		Quartile 3		Quartile 4 (high liking)		
	OR	95% CI	OR	95% CI	OR	95% CI	
Age (years)							<0.0001
<32	1		1		1		
32–44	0.68	0.59, 0.77	0.59	0.51, 0.67	0.53	0.47, 0.61	
44–56	0.38	0.33, 0.44	0.28	0.24, 0.33	0.25	0.21, 0.29	
>56	0.26	0.22, 0.32	0.19	0.15, 0.23	0.11	0.09, 0.14	
Matrimonial status							0.001
Single	1		1		1		
Couple	1.04	0.91, 1.18	1.02	0.90, 1.56	1.03	0.91, 1.18	
Married	1.12	0.98, 1.27	0.90	0.79, 1.03	0.98	0.86, 1.12	
Divorced/widowed	0.98	0.86, 1.14	0.81	0.69, 0.95	0.96	0.81, 1.13	
Having at least one child (yes <i>v.</i> no)	1.10	0.99, 1.22	1.24	1.11, 1.38	1.26	1.12, 1.41	<0.0001
Occupational category							<0.0001
Managerial staff	1		1		1		
Intermediate profession	0.99	0.91, 1.09	1.18	1.08, 1.30	1.13	1.03, 1.25	
Manual worker/employee	0.93	0.85, 1.02	1.12	1.16, 1.41	1.28	1.16, 1.41	
Farmer/self-employed/entrepreneur	0.76	0.62, 0.93	0.90	0.73, 1.11	0.85	0.68, 1.06	
Never worked	1.31	1.04, 1.65	1.76	1.41, 2.02	1.88	1.50, 2.36	
Income (€)							<0.0001
>2700	1		1		1		
1800–2700	1.03	0.93, 1.13	1.06	0.95, 1.17	1.22	1.10, 1.36	
900–1800	1.12	1.02, 1.24	1.17	1.06, 1.30	1.38	1.24, 1.54	
<900	1.04	0.90, 1.20	1.08	0.93, 1.25	1.39	1.20, 1.62	
Missing data	1.08	0.94, 1.25	1.04	0.89, 1.21	0.96	0.81, 1.13	
Cognitive restraint							<0.0001
Low	1		1		1		
Medium	0.94	0.86, 1.03	0.86	0.79, 0.94	0.75	0.69, 0.83	
High	0.82	0.75, 0.90	0.73	0.67, 0.81	0.60	0.55, 0.66	
Uncontrolled eating							<0.0001
Low	1		1		1		
Medium	1.31	1.20, 1.43	1.42	1.29, 1.55	1.66	1.50, 1.83	
High	1.47	1.33, 1.63	2.01	1.81, 2.23	2.90	2.60, 3.23	
Emotional eating							<0.0001
No	1		1		1		
Low	1.25	1.12, 1.40	1.27	1.12, 1.43	1.19	1.04, 1.35	
High	1.43	1.26, 1.62	1.71	1.49, 1.95	1.69	1.47, 1.95	
Current dieter (yes <i>v.</i> no)	1.09	1.01, 1.17	1.21	1.12, 1.30	1.33	1.23, 1.44	<0.0001
BMI (kg/m <sup>2</sup> )							<0.0001
<25 (normal)	1		1		1		
≥25 and <30 (overweight)	1.02	0.92, 1.12	1.00	0.91, 1.11	1.21	1.10, 1.34	
≥30 (obese)	1.08	0.95, 1.24	1.20	1.04, 1.37	1.47	1.29, 1.68	
Menopause							<0.0001
No	1		1		1		
Yes	1.09	0.88, 1.36	1.31	1.07, 1.62	1.43	1.16, 1.77	
Missing data	1.05	0.93, 1.18	0.82	0.72, 0.93	0.90	0.79, 1.02	

\* Multinomial logistic regression analysis was performed using the common reference (quartile 1 'low liking').

both sensations that define the overall fat sensation, but also specific physiological and behavioural characteristics associated with the fat-and-salt or fat-and-sweet sensation only.

For both sensations, equivalent relationships were found between liking scores and age, socio-economic status, cognitive restraint, uncontrolled eating, weight status and menopause. Specific associations were also highlighted according to the sensation: smoking and alcohol consumption were associated with high liking for the fat-and-salt sensation, while emotional eating, hypertension and hypertriglycerolaemia (only in

men) were associated with strong liking for the fat-and-sweet sensation. Moreover, only in women, having a child and current dieting were both positively associated with the two sensations.

Liking for fat-and-salt and fat-and-sweet sensations decreased with age, as observed for intake of fatty foods in a previous study<sup>(17)</sup>. This may be linked to the predictive role of fat liking upon fat intake, as suggested previously<sup>(10)</sup>. One hypothesis is that liking and consumption of fatty foods may decline with age due to physiological changes such as altered taste and smell, slower gastric emptying, altered hormonal responses and



decreased BMR<sup>(29)</sup>. Previous studies<sup>(2,16)</sup> assessing fat liking did not report this finding concerning age, probably due to the highly selected samples compared with our population. The present study also highlighted the fact that pregnancy was associated with a higher fat-and-salt-liking score. It has been previously demonstrated that during pregnancy, there is an increase in bitter sensitivity during the first trimester so as to protect against ingesting poison, and a decrease in the perception level for salt and bitter tastes in the second and third trimesters to support ingesting a varied diet<sup>(30)</sup>. This status could also affect fat sensitivity. Moreover, the positive associations between menopause and high liking for fat-and-salt and fat-and-sweet sensations may be due to hormonal changes. This relationship has never been studied in the literature, and few studies carried out on the relationship between the menstrual cycle and preferences or dietary intake have shown no significant associations<sup>(31–33)</sup>.

A positive association between having at least one child and high fat liking was found in women, probably due to maternal exposure to fatty foods intended for children. Low socio-economic status was inversely associated with liking for fat-and-salt and fat-and-sweet sensations. Higher exposure to fatty foods due to the greater affordability of these products compared with healthy foods in low socio-economic populations<sup>(34,35)</sup> could influence the liking for fat.

Uncontrolled eating was positively associated with liking for both sensations, but the strength of the relationship was higher for the fat-and-salt sensation, while restriction of eating was inversely associated with liking. Our findings in a general population are in concordance with previous studies assessing these relationships in obese populations and among dieters<sup>(14,15)</sup>. Emotional eating was positively associated with a liking for the fat-and-sweet sensation, as observed in a previous work conducted in a general population<sup>(19)</sup>. Psychological characteristics influenced the dietary intake of energy-dense foods such as butter, cheese, pastries and sweets<sup>(15,26,36)</sup>, and may also influence fat liking due to modified exposure to these foods. Moreover, it showed the specificity of the associations between sensory liking and individual factors according to the sensation, i.e. emotional eating and fat-and-sweet sensation. This suggests that there are distinct phenotypes whether salt or sugar is associated with fat. We could therefore identify the high fat-and-salt and high fat-and-sweet phenotypes.

Women who were currently dieting were more likely to prefer fat; thus, a recent low-fat diet may have led to frustration due to high cognitive restraint<sup>(37)</sup> and an increased liking for fat. Elsewhere, smoking and alcohol consumption were positively associated with a strong liking for the fat-and-salt sensation. Indeed, a high dose of alcohol alters the perception of salty taste and promotes the consumption of fatty-salted foods<sup>(38)</sup>. Smoking decreases the olfactory function<sup>(39)</sup> and also affects taste sensitivity<sup>(40,41)</sup>. This may affect food preferences by increasing exposure to fatty-salted foods, as shown in a previous study<sup>(42)</sup>.

Our findings showing positive relationships between weight status and fat liking, particularly the fat-and-salt sensation, are in agreement with previous studies<sup>(8,12,13)</sup>, and suggest that fat

liking might be involved in the obesity epidemic through overconsumption of fatty foods.

Interpretation of the present results must take into account the characteristics of the study. Subjects were volunteers in the NutriNet-Santé Study and thus probably more concerned about healthy lifestyle and nutrition than the general population. Thus, caution is needed when interpreting and generalising the results. Moreover, compared with liking as assessed by sensory analysis, self-reported liking on a questionnaire may lead to under-reporting. However, positive correlations between the present questionnaire and sensory test measurements have been previously shown in our laboratory. Coefficients of 0.4–0.5 for salt and sweet tastes and 0.2–0.3 for the fat sensation were found (A Deglaire, C Urbano, C Mejean, *et al.*, unpublished results). Such coefficients are in line with previous results<sup>(43–45)</sup>. The present questionnaire, shown to be repeatable, feasible and valid<sup>(21)</sup>, can thus serve as a proxy for sensory test measurements of liking.

In addition, the large sample size induced significant associations even when differences between groups were small. However, the sample size and the diversity of collected data, such as sociodemographic, economic, psychological, lifestyle, anthropometric and health factors, enabled a highly accurate estimate and adjustment for several confounders.

In conclusion, the present study provides original information and elucidates individual characteristics associated with high liking for fat-and-salt and fat-and-sweet sensations. Indeed, relationships between common unhealthy characteristics such as low socio-economic conditions, dieting, overweight and high fat liking were highlighted, and a strong liking for the fat-and-salt sensation was specifically associated with smoking and alcohol consumption. Likewise, pregnancy, having a child, menopause, uncontrolled eating and emotional eating were positively associated with high fat liking, while increasing age and cognitive restraint were negatively associated. These individual characteristics are likely to interact with each other in the causal chain between liking and dietary intake. Our original findings should therefore enable a more precise elucidation of the causal framework of relationships between taste sensitivity, liking, dietary intake and other characteristics.

### Acknowledgements

The authors thank the scientists, dietitians, technicians and assistants who helped carry out the NutriNet-Santé Study, and all dedicated and conscientious volunteers. They especially thank Gwenaël Monot, Mohand Ait-Oufella, Paul Flanzy, Yasmina Chelghoum, Véronique Gourlet, Nathalie Arnault and Laurent Bourhis. The authors thank Voluntis (a healthcare software company) and MXS (a software company specialising in dietary assessment tools) for developing the NutriNet-Santé Web-based interface according to our guidelines. The authors are grateful to Jerri Bram for English editing of the manuscript.

The present study was supported by the French National Research Agency (Agence Nationale de la Recherche) in the context of the 2008 Programme de Recherche 'Alimentation et Industries Alimentaires' (EpiPref project, ANR-08-ALIA-006). The NutriNet-Santé Study was supported by the following





institutions: Ministère de la Santé (DGS); Institut de Veille Sanitaire (InVS); Institut National de la Prévention et de l'Éducation pour la Santé (INPES); Fondation pour la Recherche Médicale (FRM); Institut de Recherche en Santé Publique (IRESP); Institut National de la Santé et de la Recherche Médicale (INSERM); Institut National de la Recherche Agronomique (INRA); Conservatoire National des Arts et Métiers (CNAM); Université Paris 13. The study was supported by grants from the Région Ile-de-France.

The authors' contributions are as follows: A. L. designed the study, performed the statistical analysis, interpreted the data and drafted the manuscript; A. D., P. S. and K. C. designed the study and participated in the drafting of the manuscript; S. P. contributed to the study design and writing of the manuscript; S. H. designed and coordinated the study cohort and supervised the study; C. M. was involved in the conception and design of the study and interpretation of the data, supervised the statistical analysis and helped in the drafting of the manuscript. All authors critically reviewed the paper and approved the final version.

None of the authors has any conflict of interest to declare.

## References

- World Health Organization (2003) *Diet, Nutrition and the Prevention of Chronic Diseases. Joint WHO/FAO Expert Consultation. WHO Technical Report Series* no. 916. Geneva: WHO.
- Drewnowski A (1997) Why do we like fat? *J Am Diet Assoc* **97**, S58–S62.
- Mela DJ (1999) Food choice and intake: the human factor. *Proc Nutr Soc* **58**, 513–521.
- Mela DJ (2001) Determinants of food choice: relationships with obesity and weight control. *Obes Res* **9**, Suppl. 4, 249S–255S.
- Glanz K, Basil M, Maibach E, *et al.* (1998) Why Americans eat what they do: taste, nutrition, cost, convenience, and weight control concerns as influences on food consumption. *J Am Diet Assoc* **98**, 1118–1126.
- Drewnowski A & Hann C (1999) Food preferences and reported frequencies of food consumption as predictors of current diet in young women. *Am J Clin Nutr* **70**, 28–36.
- Drewnowski A, Hann C, Henderson SA, *et al.* (2000) Both food preferences and food frequency scores predict fat intakes of women with breast cancer. *J Am Diet Assoc* **100**, 1325–1333.
- Duffy VB, Hayes JE, Sullivan BS, *et al.* (2009) Surveying food and beverage liking: a tool for epidemiological studies to connect chemosensation with health outcomes. *Ann N Y Acad Sci* **1170**, 558–568.
- Mejean C, Deglaire A, Kesse-Guyot E, *et al.* (2014) Association between intake of nutrients and food groups and liking for fat (The Nutrinet-Santé Study). *Appetite* **78**, 147–155.
- Raynor HA, Polley BA, Wing RR, *et al.* (2004) Is dietary fat intake related to liking or household availability of high- and low-fat foods? *Obes Res* **12**, 816–823.
- Mela DJ (2000) Why do we like what we like? *J Sci Food Agric* **81**, 10–16.
- Bartoshuk LM, Duffy VB, Hayes JE, *et al.* (2006) Psychophysics of sweet and fat perception in obesity: problems, solutions and new perspectives. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci* **361**, 1137–1148.
- Duffy VB, Lanier SA, Hutchins HL, *et al.* (2007) Food preference questionnaire as a screening tool for assessing dietary risk of cardiovascular disease within health risk appraisals. *J Am Diet Assoc* **107**, 237–245.
- Elfhag K & Erlanson-Albertsson C (2006) Sweet and fat taste preference in obesity have different associations with personality and eating behavior. *Physiol Behav* **88**, 61–66.
- Lahteenmaki L & Tuorila H (1995) Three-factor eating questionnaire and the use and liking of sweet and fat among dieters. *Physiol Behav* **57**, 81–88.
- Drewnowski A & Almiron-Roig E (2010) Human perceptions and preferences for fat-rich foods. In *Fat Detection – Taste, Texture, and Post Ingestive Effects* [Jean-Pierre Montmayeur and Johannes Le Coutre, editors]. Boca Raton, FL: CRC Press.
- Mejean C, Macouillard P, Castetbon K, *et al.* (2011) Socio-economic, demographic, lifestyle and health characteristics associated with consumption of fatty-sweetened and fatty-salted foods in middle-aged French adults. *Br J Nutr* **105**, 776–786.
- Stewart JE, Feinle-Bisset C, Golding M, *et al.* (2010) Oral sensitivity to fatty acids, food consumption and BMI in human subjects. *Br J Nutr* **104**, 145–152.
- Keskitalo K, Tuorila H, Spector TD, *et al.* (2008) The Three-Factor Eating Questionnaire, body mass index, and responses to sweet and salty fatty foods: a twin study of genetic and environmental associations. *Am J Clin Nutr* **88**, 263–271.
- Hercberg S, Castetbon K, Czernichow S, *et al.* (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**, 242.
- Deglaire A, Mejean C, Castetbon K, *et al.* (2012) Development of a questionnaire to assay recalled liking for salt, sweet and fat. *Food Qual Prefer* **23**, 110–124.
- Stunkard AJ & Messick S (1985) The three-factor eating questionnaire to measure dietary restraint, disinhibition and hunger. *J Psychosom Res* **29**, 71–83.
- Tholin S, Rasmussen F, Tynelius P, *et al.* (2005) Genetic and environmental influences on eating behavior: the Swedish Young Male Twins Study. *Am J Clin Nutr* **81**, 564–569.
- Hercberg S, Chat-Yung S & Chauliac M (2008) The French National Nutrition and Health Program: 2001–2006–2010. *Int J Public Health* **53**, 68–77.
- World Health Organization (1995) Physical status: the use and interpretation of anthropometry. In *Report of a WHO Expert Committee. World Health Organ Technical Report Series* no. 854, pp. 1–452. Geneva: WHO.
- De Lauzon B, Romon M, Deschamps V, *et al.* (2004) The Three-Factor Eating Questionnaire-R18 is able to distinguish among different eating patterns in a general population. *J Nutr* **134**, 2372–2380.
- Eigenbrodt ML, Mosley TH Jr, Hutchinson RG, *et al.* (2001) Alcohol consumption with age: a cross-sectional and longitudinal study of the Atherosclerosis Risk in Communities (ARIC) study, 1987–1995. *Am J Epidemiol* **153**, 1102–1111.
- Blundell JE & Cooling J (1999) High-fat and low-fat (behavioural) phenotypes: biology or environment? *Proc Nutr Soc* **58**, 773–777.
- Drewnowski A & Shultz JM (2001) Impact of aging on eating behaviors, food choices, nutrition, and health status. *J Nutr Health Aging* **5**, 75–79.
- Duffy VB, Bartoshuk LM, Striegel-Moore R, *et al.* (1998) Taste changes across pregnancy. *Ann N Y Acad Sci* **855**, 805–809.



31. Hormes JM & Rozin P (2009) Perimenstrual chocolate craving. What happens after menopause? *Appetite* **53**, 256–259.
32. Kanarek RB, Ryu M & Przypek J (1995) Preferences for foods with varying levels of salt and fat differ as a function of dietary restraint and exercise but not menstrual cycle. *Physiol Behav* **57**, 821–826.
33. Verma P, Mahajan KK, Mittal S, *et al.* (2005) Salt preference across different phases of menstrual cycle. *Indian J Physiol Pharmacol* **49**, 99–102.
34. Drewnowski A & Spector SE (2004) Poverty and obesity: the role of energy density and energy costs. *Am J Clin Nutr* **79**, 6–16.
35. Drewnowski A & Darmon N (2005) Food choices and diet costs: an economic analysis. *J Nutr* **135**, 900–904.
36. de Castro JM & Lilenfeld LR (2005) Influence of heredity on dietary restraint, disinhibition, and perceived hunger in humans. *Nutrition* **21**, 446–455.
37. King GA, Herman CP & Polivy J (1987) Food perception in dieters and non-dieters. *Appetite* **8**, 147–158.
38. Caton SJ, Ball M, Ahern A, *et al.* (2004) Dose-dependent effects of alcohol on appetite and food intake. *Physiol Behav* **81**, 51–58.
39. Frye RE, Schwartz BS & Doty RL (1990) Dose-related effects of cigarette smoking on olfactory function. *JAMA* **263**, 1233–1236.
40. Pavlos P, Vasilios N, Antonia A, *et al.* (2009) Evaluation of young smokers and non-smokers with Electrogustometry and Contact Endoscopy. *BMC Ear Nose Throat Disord* **9**, 9.
41. Pepino MY & Mennella JA (2007) Effects of cigarette smoking and family history of alcoholism on sweet taste perception and food cravings in women. *Alcohol Clin Exp Res* **31**, 1891–1899.
42. Perrin MJ, Krut LH & Bronte-Sewart B (1961) Smoking and food preferences. *Br Med J* **1**, 387–388.
43. Beauchamp GK, Bertino M, Burke D, *et al.* (1990) Experimental sodium depletion and salt taste in normal human volunteers. *Am J Clin Nutr* **51**, 881–889.
44. Keskitalo K, Tuorila H, Spector TD, *et al.* (2007) Same genetic components underlie different measures of sweet taste preference. *Am J Clin Nutr* **86**, 1663–1669.
45. Kim GH & Lee HM (2009) Frequent consumption of certain fast foods may be associated with an enhanced preference for salt taste. *J Hum Nutr Diet* **22**, 475–480.



## 2 Associations entre l'attirance pour les goûts salé et sucré et les caractéristiques démographiques, psychologiques et de mode de vie

La surconsommation de sel et de sucre a été identifiée comme facteur de risque dans l'apparition de nombreuses maladies chroniques. Les caractéristiques démographiques, psychologiques et de mode de vie sont associées à la consommation de produits salés et sucrés. En revanche, peu de travaux se sont intéressés aux profils individuels associés à l'attirance pour le sucré et le salé.

L'objectif de cette étude était d'explorer les associations entre l'attirance pour les goûts salé et sucré et les caractéristiques démographiques, psychologiques et de mode de vie.

La population d'étude était composée de 37 181 sujets issus de la cohorte NutriNet-Santé. Pour cette analyse transversale, l'attirance sensorielle et les caractéristiques individuelles ont été collectées à l'aide de questionnaires validés via le site NutriNet-Santé. Les scores d'attirance obtenus pour les goûts salé et sucré ont été divisés en quartiles sexe-spécifiques afin d'étudier les caractéristiques associées aux sujets fortement attirés (Quartile 4) en comparaison des sujets faiblement attirés (Quartile 1). Des modèles de régression logistique multinomiale ont été utilisés chez les hommes et les femmes séparément, ajustés sur les caractéristiques économiques, anthropométriques et de santé.

Les sujets plus âgés (>56 ans chez les femmes et >63 ans chez les hommes) étaient plus enclins à être fortement attirés par le goût salé (H: RC=1,24 IC<sub>95%</sub> [1,18;1,30]; F: RC=1,14 [1,09;1,19]) alors qu'ils étaient moins susceptibles d'être fortement attirés par le goût sucré (H: RC=0,87 [0,83;0,91]; F: RC=0,66 [0,64;0,68]), comparés aux sujets plus jeunes. Les fumeurs (H: RC=2,30 [1,90;2,78]; F: RC=1,50 [1,36;1,66]) et les forts consommateurs d'alcool (H: RC=2,92 [2,37;3,58]; F: RC=2,57 [2,22;2,98]) étaient plus susceptibles d'être fortement attirés par le salé comparés aux non-fumeurs et aux non consommateurs d'alcool, respectivement. Concernant le goût sucré, les femmes fumeuses étaient moins enclines à être fortement attirées par le sucré (F: RC=0,80 [0,72;0,89]) que les non fumeuses. Par ailleurs, les individus ayant des épisodes d'alimentation incontrôlée (H: RC=2,39 [2,04;2,80]; F: RC=2,22 [1,99;2,47]) et les femmes présentant une forte émotionnalité alimentaire (RC=1,35 [1,18;1,55]) étaient plus susceptibles d'être fortement attirés par le sucré comparé aux sujets ayant peu de périodes d'alimentation incontrôlée et aux femmes non-émotionnelles, respectivement. En revanche, les sujets fortement restreints (H: RC=0,39 [0,33;0,46]; F: RC=0,55 [0,50;0,60]) et les personnes ayant suivi un régime amincissant dans

le passé (H: RC=0,60 [0,52;0,70]; F: RC=0,68 [0,62;0,73]) étaient moins susceptibles d'être fortement attirés par le goût sucré.

Deux tendances semblent émerger de ces résultats : les modes de vie défavorables à la santé (tabagisme et alcool) sont liés à une forte attirance pour le salé, et les traits psychologiques liés à l'alimentation et les régimes amincissants semblent davantage en lien avec une forte attirance pour le sucré. Ces profils spécifiques en fonction des goûts salé et sucré suggèrent que des mécanismes spécifiques entrent en jeu. Deux hypothèses sont envisagées : une hypothèse comportementale reflétant une exposition probablement due à des habitudes alimentaires spécifiques (restriction ou perte de contrôle lors de la consommation) qui influencerait l'attirance pour le sucré, et une seconde hypothèse plutôt « physiologique » mettant en cause des mécanismes biologiques tels que la sensibilité gustative par exemple, qui pourrait jouer sur l'attirance pour le salé.

Ces nouvelles connaissances permettront de mieux appréhender et comprendre le cadre conceptuel incluant les caractéristiques individuelles, l'attirance sensorielle, la consommation alimentaire et le statut pondéral.

Lampuré A, Schlich P, Deglaire A, Castetbon K, Péneau S, Hercberg S, Méjean C. **Sociodemographic, psychological, and lifestyle characteristics are associated with a liking for salty and sweet tastes in French adults.** *Journal of Nutrition* (2015), 145, 587-594.



# Sociodemographic, Psychological, and Lifestyle Characteristics Are Associated with a Liking for Salty and Sweet Tastes in French Adults<sup>1,2</sup>

Aurélien Lampuré,<sup>3\*</sup> Pascal Schlich,<sup>4</sup> Amélie Deglaire,<sup>4,5</sup> Katia Castetbon,<sup>3,6</sup> Sandrine Péneau,<sup>3</sup> Serge Hercberg,<sup>3,6,7</sup> and Caroline Méjean<sup>3</sup>

<sup>3</sup>Paris 13 University, Sorbonne Paris Cité, Nutritional Epidemiology Research Team (EREN), U1153 National Institute of Health and Medical Research, U1125 National Institute for Agricultural Research, National Conservatory of Arts and Crafts, Paris 7 and 5 Universities, Bobigny, France; <sup>4</sup>Center for Taste and Feeding Behaviour, UMR 6265 National Center for Scientific Research, UMR 1324 National Institute for Agricultural Research, Bourgogne University, Dijon, France; <sup>5</sup>Agrocampus Ouest, UMR 1253 National Institute for Agricultural Research, Science and Technology of Milk and Eggs, Rennes, France; <sup>6</sup>Paris 13 University, Sorbonne Paris Cité, Nutritional Epidemiology and Surveillance Unit, French Institute for Health Surveillance, Department of Chronic Diseases and Injuries, Bobigny, France; and <sup>7</sup>Department of Public Health, Avicenne Hospital, Bobigny, France

## Abstract

**Background:** Various studies have shown that sensory liking influences dietary behavior and that individual characteristics are related to food intake and weight status, but little is known about individual profiles associated with salt and sweet liking.

**Objective:** The aim of the present study was to investigate the association between a liking for salty and sweet tastes (i.e., a liking for foods rich in salt or sugar and preferred amounts of salt or sugar seasoning in foods) and sociodemographic, psychological, and lifestyle characteristics in a large sample.

**Methods:** Individual factors and liking scores were collected by validated questionnaires from 37,181 French adults participating in the NutriNet-Santé study, a large web-based observational cohort launched in 2009 that studies relations between nutrition and health. The associations were assessed by multivariable multinomial logistic regression models adjusted for socioeconomic, anthropometric, and health variables.

**Results:** In both genders, with increasing age, individuals were more likely to have a high salt liking (men, OR: 1.24; 95% CI: 1.18, 1.30; women, OR: 1.14, 95% CI: 1.09, 1.19), whereas they were less likely to have a strong sweet liking (men, OR: 0.87; 95% CI: 0.83, 0.91; women, OR: 0.66; 95% CI: 0.64, 0.68). Current smokers (men, OR: 2.30; 95% CI: 1.90, 2.78; women, OR: 1.50; 95% CI: 1.36, 1.66) and heavy drinkers (men, OR: 2.92; 95% CI: 2.37, 3.58; women, OR: 2.57, 95% CI: 2.22, 2.98) were more likely to like salt than nonsmokers and alcohol abstainers. Regarding the sweet taste, women smokers were less likely to like sweets (OR: 0.80; 95% CI: 0.72, 0.89). Highly uncontrolled eaters (men, OR: 2.39; 95% CI: 2.04, 2.80; women, OR: 2.22; 95% CI: 1.99, 2.47) and highly emotional women (OR: 1.35; 95% CI: 1.18, 1.55) were more likely to have a high liking for sweets than slightly uncontrolled eaters and nonemotional eaters, whereas those with high cognitive restraint (men, OR: 0.39; 95% CI: 0.33, 0.46; women, OR: 0.55; 95% CI: 0.50, 0.60) and former weight-loss dieters (men, OR: 0.60; 95% CI: 0.52, 0.70; women, OR: 0.68; 95% CI: 0.62, 0.73) were less likely to have a strong sweet liking compared with those with low cognitive restraint and never-dieters.

**Conclusion:** An unhealthy lifestyle that includes smoking and alcohol consumption may influence salt liking, and eating behavior may have an impact on sweet liking. Further research is needed to study the influence of individual factors and sensory liking on dietary intake and weight status. This study was registered at the European Clinical Trials Database as 2013-000929-31. *J Nutr* 2015;145:587-94.

**Keywords:** dietary determinant, eating behavior, lifestyle, sensory liking, salty taste, sweet taste

## Introduction

Overconsumption of salt and sugar has been identified as a risk factor for major chronic diseases (1, 2), although these

components contribute to eating pleasure due to their sensory properties. Taste was shown to be an important determinant of food choices and dietary intake (3-7). Individual characteristics such as sociodemographic, psychological, and lifestyle factors are known to be related to dietary intake (8, 9) and weight status

<sup>1</sup> This study was supported by the French National Research Agency through the 2008 "Alimentation et Industries Alimentaires" research program (Epidemiology of Preferences project, ANR-08-ALIA-006). The NutriNet-Santé study is supported by the following institutions: Ministry of Health, French Institute for Health Surveillance, National Institute for Prevention and Health Education, Medical Research Foundation, National Institute of Health and Medical Research, National Institute for Agricultural Research, National Conservatory of Arts and Crafts, and Paris 13 University. This study was also supported by grants from the Region Ile-de-France.

<sup>2</sup> Author disclosures: A Lampuré, P Schlich, A Deglaire, K Castetbon, S Péneau, S Hercberg, and C Méjean, no conflicts of interest.

\* To whom correspondence should be addressed. E-mail: a.lampure@eren.smbh.univ-paris13.fr.



(10, 11); they might therefore interact with sensory liking as determinants of food behavior. To better understand the role of sensory liking in dietary behavior, individual factors associated with sensory liking for salty and sweet tastes must be determined. However, only a few studies have explored variations in sensory liking for sweet and salty tastes according to factors such as these.

Physiologic factors such as age and sex are associated with dietary intake (12, 13) and also have an impact on sensory liking. Available studies have pointed out that women have a higher liking for salt (14) and a lower liking for sweets than men (15, 16). Regarding age, results are conflicting for the salty (14, 17–19) and sweet (18, 20–24) tastes. Eating behaviors such as cognitive restraint, uncontrolled eating, and emotional eating are strongly related to unhealthy dietary intake and BMI (25–27). Cognitive restraint is defined as controlling food intake in order to influence body weight; uncontrolled eating is the tendency to lose control over eating when hungry or when exposed to external stimuli; emotional eating is the propensity to overeat in relation to negative mood states (28). A strong liking for sweets is positively associated with uncontrolled eating (29) and inversely associated with cognitive restraint (30), whereas salt liking is positively associated with cognitive restraint (31) in highly selected populations. Finally, unhealthy lifestyle characteristics influence dietary intake and increase the risk of obesity (32, 33); they can be considered to have a physiologic and behavioral impact on liking. Indeed, conflicting results were found with respect to smoking status (34, 35), whereas a history of alcoholism or excessive alcohol intake appeared to be positively associated with sweet liking (36–38). Available studies mainly have been conducted in small samples and results are subject to caution.

The aim of the present study was to investigate the associations between a liking for salty and sweet tastes and socio-demographic, psychological, and lifestyle characteristics in French adults, adjusted for socioeconomic conditions, health status, and BMI (39) to accurately identify the independent effects of these characteristics. The originality of our work lies in the fact that we considered all such factors, providing robust relations based on a large heterogeneous population.

## Methods

### Study population

We used data from the NutriNet-Santé study, a large web-based observational cohort launched in France. This study was implemented in the general population and targeted Internet-using adult volunteers aged  $\geq 18$  y. The study was designed to investigate the relation between nutrition and health, as well as determinants of dietary behavior and nutritional status. The design, methods, and rationale have been described elsewhere (40). All questionnaires were completed online via the NutriNet-Santé website.

This study was conducted according to guidelines laid down in the Declaration of Helsinki, and all procedures were approved by the Institutional Review Board of the French Institute for Health and Medical Research (no. 0000388FWA00005831) and the French National Commission for Computed Data and Individual Freedom (no. 908450 and no. 909216). Electronic informed consent was obtained from all subjects.

### Data collection

**Assessment of liking for salty and sweet tastes.** According to Mela (41), sensory liking is defined as a qualitative hedonic evaluation of a food. A liking for salty and sweet tastes was assessed with the use of PrefQuest, an original web-based questionnaire (42). This was the first

questionnaire to assay an overall liking for saltiness, sweetness, and fat simultaneously via several items, enabling an assessment of overall liking, i.e., liking primarily derived from sensation independently of the food product. This questionnaire measured attractiveness of specific foods and seasoning, and consequently evaluated liking rather than preference, i.e., a choice among 2 or more alternatives presented in a given time and context. The questionnaire was internally validated by studying the underlying structure of each taste through the use of exploratory factor analysis and confirmatory factor analysis (42), and externally validated by comparing with sensory tests that included 32 food models conducted in a diversified sample ( $n = 557$ ) (A Deglaire, C Urbano, C Méjean, S Herberg, P Schlich, unpublished results, 2011). In May 2010, participants in the Nutrinet-Santé cohort ( $n = 65,683$ ) were invited to complete this questionnaire, which was available online for 6 mo.

The development and validation of the questionnaire has been described elsewhere (42). Briefly, 83 relevant items were divided into a liking for salty (11 items) and sweet (21 items) tastes and fat-and-salt (31 items) and fat-and-sweet (20 items) sensations. The questionnaire included 4 types of items: 1) a liking for sweet, fatty-sweet, or fatty-salty foods, rated on a 9-point hedonic scale; 2) preferred amount of salt, sweet, fat-and-salt, or fat-and-sweet seasoning, measured on a 6-point scale; 3) preferred drinks (sweet/sweetened or unsweetened) on a restaurant menu as a multiple choice question; and 4) dietary behavior in terms of sweet, salty, and fatty foods, measured on a 5-point frequency scale from “never” to “always” (e.g.: Do you salt your dish before tasting?) or a 9-point scale from “not at all” to “a lot” (e.g.: Do you ever eat jam straight out of the jar with a spoon?). For most items, subjects also had the option of checking a nonapplicable answer, such as “I have never tasted [this food]” or “I do not like [this food].”

**Assessment of individual characteristics.** Sociodemographic data (age and sex), lifestyle data (smoking status and alcohol consumption), and history of dieting were collected at baseline with the initial set of questionnaires. Psychological data were collected 14 mo after inclusion with the use of the revised 21-item Three-Factor Eating Questionnaire (TFEQ), which is a self-assessment instrument of eating behavior (cognitive restraint, uncontrolled eating, and emotional eating) (28, 43).

Potential confounding factors in relations between sensory liking and sociodemographic, lifestyle, and psychological factors such as economic data (marital status, having a child, living area, educational level, occupational category, and household income per consumption unit), self-reported anthropometric data (height and weight to compute BMI), and self-declared health data (hypercholesterolemia, hypertriglyceridemia, hypertension, type 1 and type 2 diabetes, pregnancy, and menopause) were collected at baseline.

### Statistical methods

The present analysis focused on subjects living in metropolitan France and included in the Nutrinet-Santé cohort who had completed the initial set of questionnaires, PrefQuest and the TFEQ. All analyses were performed separately for men and women because most interactions between gender and individual characteristics were significant ( $P < 0.05$ ).

The computation of liking scores for salty and sweet tastes has been detailed previously (42, 44). Quartiles of scores for sweet and salty tastes were computed and defined from quartile 1, “low liking,” to quartile 4, “high liking.” We defined the “high risk” group as participants who had a high liking for the salty or sweet taste, i.e., belonging to quartile 4.

Age was a continuous variable with a 10-y unit. Cognitive restraint and uncontrolled eating categories were coded into tertiles as low, medium, and high. Moreover, because the emotional eating variable was not normally distributed, we categorized it into 3 classes with the use of the median as no emotional eating, and low and high emotional eating. We also assessed current weight-loss dieting and past weight-loss dieting. Regarding lifestyle, according to French recommendations (45), male drinkers were categorized as abstainers and irregular consumers ( $\leq 4$  g alcohol/d), moderate consumers ( $> 4$  to  $\leq 30$  g alcohol/d), or heavy drinkers ( $> 30$  g alcohol/d), and female drinkers as abstainers and irregular consumers ( $\leq 3$  g alcohol/d), moderate



consumers (>3 to ≤20 g alcohol/d), or heavy drinkers (>20 g alcohol/d). Finally, smoking status was classified into 3 categories: never-smokers, former smokers, and current smokers.

Confounding variables used for adjustment in models were marital status, having at least one child, living area, educational level, occupational category, household income per consumption unit, BMI, pregnancy, menopause, and self-reported health problems (type 1 and type 2 diabetes, hypertension, hypertriglyceridemia, and hypercholesterolemia). Variables have been described previously (44).

Comparisons between included and excluded participants and gender comparisons were performed with the use of Student's *t* test and the chi-square test, as appropriate. Therefore, associations between a liking for sweet and salty tastes and individual characteristics were assessed by multinomial logistic regression analysis (common reference = quartile 1, "low liking") stratified by gender, enabling the study of the independent effects of individual factors on sensory liking. Univariate logistic regressions were performed by calculating ORs and 95% CIs to determine the strength of the association between liking and each explanatory variable and liking and each confounding variable, as well as between each explanatory and confounding variable. According to the literature and our hypotheses, interaction effects between age and cognitive restraint (10, 26), age and smoking status, and age and alcohol consumption (46) were also examined. Explanatory variables and confounding variables associated with liking at the 0.1 significance level were retained for inclusion in the initial multivariate model. Subsequently, with the use of stepwise backward elimination, multivariate logistic regression models were constructed. Details regarding statistical analyses have been described elsewhere (44). Data management and statistical analyses were performed with the use of SAS software (version 9.3, SAS Institute). A *P* value < 0.05 was first considered statistically significant. Then, to take into account multiple comparisons, we calculated the Bonferroni correction for each multinomial model and found *P* values > 0.0001 (e.g., the model for salt liking in men had 8 variables and thus a corrected *P* value of 0.006).

## Results

Among the 65,683 participants in the NutriNet-Santé study in May 2010, 49,066 responded to the PrefQuest, i.e., a 75% participation rate. Among the responders, 24% were excluded (*n* = 11,885), either because they did not fill in the TFEQ (*n* = 10,481), had nonapplicable data for taste (*n* = 822), or had missing data for BMI, living area, or alcohol consumption (*n* = 582), leaving 37,181 subjects available for analysis (28,504 women and 8677 men). Compared with excluded subjects, individuals included in our analysis were older (46 vs. 41 y, *P* < 0.0001), the proportion of men was higher (23% vs. 21%, *P* < 0.0001), the proportion of those with a high income was higher (26% vs. 21%, *P* < 0.0001) and the proportion of smokers was lower (15% vs. 20%, *P* < 0.0001) (data not tabulated).

Regarding individual characteristics, women were younger and had higher scores for psychological characteristics, whereas men had a higher BMI (Table 1). In addition, the proportion of married men, men who had at least one child, and men who belonged to a high-level occupational category was higher than for women (Table 1). Regarding sensory liking score distributions, salt liking scores ranged from 0 to 10 with a mean ± SD of 3.8 ± 1.6 for men and from 0 to 10 with a mean of 3.7 ± 1.5 for women, whereas sweet liking scores ranged from 0 to 9.4 with a mean of 4.0 ± 1.4 for men and from 0.1 to 9.6 with a mean of 3.7 ± 1.3 for women. Men had slightly higher liking scores for salty and sweet tastes than did women (Table 2).

*Individual characteristics associated with liking for the salty taste.* All analyses were performed separately in men and women. Overall, gradual relations according to liking levels for

**TABLE 1** Individual characteristics of the sample from the NutriNet-Santé study cohort, 2009–2010 (*n* = 37,181)<sup>1</sup>

Variable	Men ( <i>n</i> = 8677)	Women ( <i>n</i> = 28,504)	<i>P</i> <sup>2</sup>
Age, y	51.9 ± 14.5	44.4 ± 13.9	<0.0001
Marital status			<0.0001
Single	12.7	17.0	
Married or living with a partner	79.7	72.6	
Divorced/widowed	7.6	10.4	
Having at least one child	74.1	65.7	<0.0001
Living area			0.04
Rural	21.4	21.7	
Urban <20,000 inhabitants	15.8	14.7	
Urban ≥20,000 to <100,000 inhabitants	12.5	12.0	
Urban ≥100,000 inhabitants	32.0	33.1	
Paris	18.3	18.5	
Educational level			<0.0001
Elementary school	4.0	2.9	
Secondary school	36.3	33.6	
College graduate	22.9	32.1	
Advanced degree	36.1	30.7	
Missing data	0.7	0.7	
Occupational category			<0.0001
Never worked	2.4	5.0	
Farmer/self-employed	5.2	2.8	
Manual worker/employee	17.2	34.7	
Middle management	23.8	28.2	
Upper management	51.4	29.3	
Household income per consumption unit			<0.0001
<900 euros	6.2	10.8	
900–1800 euros	30.3	33.6	
>1800–2700 euros	26.3	24.9	
>2700 euros	33.6	23.7	
No answer	3.6	7.0	
Cognitive restraint	38.7 ± 20.0	44.3 ± 20.3	<0.0001
Uncontrolled eating	27.6 ± 17.8	30.3 ± 18.2	<0.0001
Emotional eating	26.6 ± 23.7	43.5 ± 27.2	<0.0001
Alcohol consumption <sup>3</sup>			<0.0001
Abstainer or irregular consumer	30.3	55.4	
Moderate drinker	55.4	38.0	
Heavy drinker	14.3	6.6	
Smoking status			<0.0001
Never	40.6	52.1	
Former	45.7	32.5	
Current	13.7	15.4	
BMI, kg/m <sup>2</sup>	25.2 ± 3.9	23.5 ± 4.6	<0.0001
Current dieter	35.1	47.7	<0.0001
Former dieter	25.6	53.6	<0.0001
Menopause			—
No	—	65.0	
Yes	—	35.0	
Pregnancy	—	2.0	—
Hypertension	18.0	8.5	<0.0001
Type 1 diabetes	1.0	0.4	<0.0001
Type 2 diabetes	3.9	1.1	<0.0001
Hypercholesterolemia	16.2	7.9	<0.0001
Hypertriglyceridemia	3.8	1.1	<0.0001

<sup>1</sup> Values are means ± SDs or percentages.

<sup>2</sup> Comparison between men and women with the use of  $\chi^2$  tests or Student's *t* tests as appropriate. All statistical tests were 2-sided.

<sup>3</sup> Abstainer or irregular consumer is defined as ≤3 g/d for women and ≤4 g/d for men. Moderate drinker is defined as >3 to ≤20g/d for women and >4 to ≤30g/d for men. Heavy drinker is defined as >20 g/d for women and >30 g/d for men.



**TABLE 2** Quartiles of liking scores for salty and sweet tastes in women ( $n = 28,504$ ) and men ( $n = 8677$ ) from the NutriNet-Santé study cohort, 2009–2010<sup>1</sup>

Taste	Quartile 1 (Low liking)		Quartile 2		Quartile 3		Quartile 4 (High liking)		All <sup>2</sup>
	<i>n</i>	Score	<i>n</i>	Score	<i>n</i>	Score	<i>n</i>	Score	
Salt									
Women	7126	[0.00, 2.74]	6989	[2.75, 3.72]	7279	[3.73, 4.67]	7110	[4.68, 10.00]	3.7 ± 1.5
Men	2285	[0.00, 2.76]	2076	[2.77, 3.85]	2113	[3.86, 4.90]	2203	[4.91, 10.00]	3.8* ± 1.6
Sweet									
Women	7126	[0.00, 2.71]	7130	[2.72, 3.55]	7124	[3.56, 4.50]	7124	[4.51, 9.35]	3.7 ± 1.3
Men	2169	[0.12, 3.02]	2163	[3.03, 3.93]	2176	[3.94, 4.90]	2169	[4.91, 9.55]	4.0* ± 1.4

<sup>1</sup> Values in brackets are the lower and upper liking scores (0–10 points) in each quartile. \*Different from women,  $P < 0.0001$ .  
<sup>2</sup> Values are means ± SDs.

salty and sweet taste (from quartile 2 to quartile 4 vs. quartile 1) were observed in both genders. The results that follow give the OR for belonging to the “high liking” quartile (quartile 4) vs. the “low liking” quartile (quartile 1). In men and women, age was positively associated with a liking for salty taste (Table 3). In both genders, former smokers (women, OR: 1.12; 95% CI: 1.03, 1.20; men, OR: 1.37; 95% CI: 1.18, 1.57) and current smokers (women, OR: 1.50; 95% CI: 1.36, 1.66; men, OR: 2.30, 95% CI: 1.90, 2.78), along with moderate drinkers (women, OR: 1.53; 95% CI: 1.43, 1.65; men, OR: 1.55; 95% CI: 1.35, 1.78) and heavy drinkers (women, OR: 2.57; 95% CI: 2.22, 2.98; men, OR: 2.92, 95% CI: 2.37, 3.58), were more likely to have a strong liking for the salty taste than were never-smokers and irregular alcohol consumers (Table 3).

Men with moderate (OR: 0.68; 95% CI: 0.59, 0.80) or high (OR: 0.51; 95% CI: 0.43, 0.60) cognitive restraint were less

likely to have a high liking for salty taste than were those with low cognitive restraint. Women and men with moderate (women, OR: 1.41; 95% CI: 1.29, 1.54; men, OR: 1.33; 95% CI: 1.14, 1.56) or high (women, OR: 1.90; 95% CI: 1.74, 2.08; men, OR: 1.71; 95% CI: 1.47, 1.99) uncontrolled eating were more likely to have a strong liking for salty taste than were low uncontrolled eaters (Table 3). Finally, in women, former dieters were more likely to have a high liking for salty taste (OR: 1.11; 95% CI: 1.04, 1.19) than were nondieters.

*Individual characteristics associated with liking for the sweet taste.* As was the case for saltiness, results for the sweet taste give the OR for belonging to the “high liking” quartile (quartile 4) vs. the “low liking” quartile (quartile 1). In both sexes, age was inversely associated with a strong liking for the sweet taste (Table 4). In women, former (OR: 0.77; 95% CI:

**TABLE 3** Multivariate multinomial logistic analysis of the association between sociodemographic, psychological, and lifestyle characteristics, and levels of liking for salty taste in women ( $n = 28,504$ ) and men ( $n = 8677$ ) from the NutriNet-Santé study cohort, 2009–2010<sup>1</sup>

Variable	Women				Men			
	Quartile 2 <sup>2</sup>	Quartile 3 <sup>2</sup>	Quartile 4 (High liking) <sup>2</sup>	<i>P</i> <sup>3</sup>	Quartile 2 <sup>4</sup>	Quartile 3 <sup>4</sup>	Quartile 4 (High liking) <sup>4</sup>	<i>P</i> <sup>3</sup>
Age (10 y)	1.14 (1.10, 1.19)	1.20 (1.15, 1.25)	1.14 (1.09, 1.19)	<0.0001	1.05 (1.00, 1.10)	1.15 (1.10, 1.21)	1.24 (1.18, 1.30)	<0.0001
Alcohol consumption <sup>5</sup>	<0.0001				<0.0001			
Abstainer or irregular consumer	1	1	1		1	1	1	
Moderate drinker	1.25 (1.16, 1.34)	1.50 (1.40, 1.61)	1.53 (1.43, 1.65)		1.28 (1.12, 1.46)	1.67 (1.46, 1.91)	1.55 (1.35, 1.78)	
Heavy drinker	1.44 (1.23, 1.69)	1.85 (1.58, 2.15)	2.57 (2.22, 2.98)		1.57 (1.26, 1.95)	2.22 (1.79, 2.75)	2.92 (2.37, 3.58)	
Smoking status	<0.0001				<0.0001			
Never	1	1	1		1	1	1	
Former	0.97 (0.90, 1.05)	0.99 (0.91, 1.06)	1.12 (1.03, 1.20)		1.24 (1.08, 1.43)	1.10 (0.96, 1.27)	1.37 (1.18, 1.57)	
Current	0.99 (0.89, 1.09)	1.14 (1.03, 1.26)	1.50 (1.36, 1.66)		1.20 (0.98, 1.47)	1.34 (1.10, 1.63)	2.30 (1.90, 2.78)	
Former dieter (yes vs. no)	0.94 (0.88, 1.01)	0.96 (0.90, 1.03)	1.11 (1.04, 1.19)	<0.0001				—
Cognitive restraint	—				<0.0001			
Low					1	1	1	
Medium					0.87 (0.74, 1.02)	0.88 (0.76, 1.03)	0.68 (0.59, 0.80)	
High					0.77 (0.66, 0.91)	0.63 (0.54, 0.74)	0.51 (0.43, 0.60)	
Uncontrolled eating	<0.0001				<0.0001			
Low	1	1	1		1	1	1	
Medium	1.19 (1.09, 1.29)	1.23 (1.13, 1.34)	1.41 (1.29, 1.54)		1.18 (1.01, 1.37)	1.18 (1.01, 1.38)	1.33 (1.14, 1.56)	
High	1.25 (1.15, 1.37)	1.39 (1.28, 1.52)	1.90 (1.74, 2.08)		1.14 (0.98, 1.33)	1.46 (1.25, 1.69)	1.71 (1.47, 1.99)	

<sup>1</sup> Values are ORs (95% CIs). Reference category is quartile 1, low liking.

<sup>2</sup> Adjusted for marital status, household income per consumption unit, and menopause.

<sup>3</sup> Overall *P* value that reflects the global association between quartiles of sensory liking and individual factors.

<sup>4</sup> Adjusted for living area, BMI class, and hypercholesterolemia.

<sup>5</sup> Quantities in grams of ethanol per day. Abstainer or irregular consumer is defined as ≤3 g/d for women and ≤4 g/d for men. Moderate drinker is defined as >3 to ≤20g/d for women and >4 to ≤30g/d for men. Heavy drinker is defined as >20 g/d for women and >30 g/d for men.



**TABLE 4** Multivariate multinomial logistic analysis of the association between sociodemographic, psychological, and lifestyle characteristics, and levels of liking for sweet taste in women (*n* = 28,504) and men (*n* = 8677) from the NutriNet-Santé study cohort, 2009–2010<sup>1</sup>

Variable	Women				Men			
	Quartile 2 <sup>2</sup>	Quartile 3 <sup>2</sup>	Quartile 4 (High liking) <sup>2</sup>	<i>P</i> <sup>3</sup>	Quartile 2 <sup>4</sup>	Quartile 3 <sup>4</sup>	Quartile 4 (High liking) <sup>4</sup>	<i>P</i> <sup>3</sup>
Age (10 y)	0.87 (0.84, 0.89)	0.75 (0.73, 0.77)	0.66 (0.64, 0.68)	<0.0001	0.93 (0.89, 0.98)	0.90 (0.86, 0.95)	0.87 (0.83, 0.91)	<0.0001
Alcohol consumption <sup>5</sup>				0.0005				0.008
Abstainer or irregular consumer	1	1	1		1	1	1	
Moderate drinker	1.12 (1.04, 1.20)	1.12 (1.04, 1.20)	0.98 (0.91, 1.06)		1.11 (0.97, 1.27)	1.11 (0.97, 1.28)	0.89 (0.78, 1.03)	
Heavy drinker	1.09 (0.95, 1.25)	1.15 (1.00, 1.32)	1.04 (0.90, 1.12)		1.04 (0.85, 1.26)	1.18 (0.97, 1.23)	0.88 (0.72, 1.07)	
Smoking status				<0.0001				—
Never	1	1	1					
Former	0.89 (0.83, 0.96)	0.86 (0.79, 0.92)	0.77 (0.71, 0.83)					
Current	0.88 (0.79, 0.97)	0.88 (0.79, 0.97)	0.80 (0.72, 0.89)					
Former dieter (yes vs. no)	0.84 (0.78, 0.91)	0.75 (0.70, 0.81)	0.68 (0.62, 0.73)	<0.0001	0.70 (0.60, 0.80)	0.63 (0.55, 0.73)	0.60 (0.52, 0.70)	<0.0001
Cognitive restraint				<0.0001				<0.0001
Low	1	1	1		1	1	1	
Medium	0.92 (0.84, 1.00)	0.91 (0.83, 0.99)	0.70 (0.64, 0.76)		0.95 (0.80, 1.12)	0.79 (0.67, 0.93)	0.59 (0.50, 0.70)	
High	0.86 (0.79, 0.94)	0.72 (0.66, 0.79)	0.55 (0.50, 0.60)		0.82 (0.69, 0.97)	0.56 (0.47, 0.67)	0.39 (0.33, 0.46)	
Uncontrolled eating				<0.0001				<0.0001
Low	1	1	1		1	1	1	
Medium	1.20 (1.10, 1.31)	1.34 (1.23, 1.47)	1.51 (1.37, 1.66)		1.36 (1.17, 1.59)	1.38 (1.18, 1.61)	1.63 (1.39, 1.91)	
High	1.42 (1.29, 1.57)	1.65 (1.49, 1.83)	2.22 (1.99, 2.47)		1.48 (1.27, 1.72)	2.01 (1.72, 2.35)	2.39 (2.04, 2.80)	
Emotional eating				<0.0001				—
No	1	1	1					
Low	1.28 (1.14, 1.44)	1.24 (1.10, 1.40)	1.14 (1.01, 1.29)					
High	1.32 (1.16, 1.50)	1.44 (1.26, 1.64)	1.35 (1.18, 1.55)					

<sup>1</sup> Values are ORs (95% CIs). Reference category is quartile 1, low liking.

<sup>2</sup> Adjusted for living area, occupational category, household income per consumption unit, BMI class, hypercholesterolemia, and type 1 and type 2 diabetes.

<sup>3</sup> Overall *P* value that reflects the global association between quartiles of sensory liking and individual factors.

<sup>4</sup> Adjusted for living area, household income per consumption unit, hypertension, and type 1 and type 2 diabetes.

<sup>5</sup> Quantities in grams of ethanol per day. Abstainer or irregular consumer is defined as ≤3 g/d for women and ≤4 g/d for men. Moderate drinker is defined as >3 to ≤20g/d for women and >4 to ≤30g/d for men. Heavy drinker is defined as >20 g/d for women and >30 g/d for men.

0.71, 0.83) and current (women, OR: 0.80; 95% CI: 0.72, 0.89) smokers were less likely to have a strong liking for the sweet taste than were never-smokers (Table 4).

Women and men with moderate (women, OR: 0.70; 95% CI: 0.64, 0.76; men, OR: 0.59; 95% CI: 0.50, 0.70) or high (women, OR: 0.55; 95% CI: 0.50, 0.60; men, OR: 0.39; 95% CI: 0.33, 0.46) cognitive restraint were less likely to have a strong liking for the sweet taste than were those with low cognitive restraint. Subjects with moderate (women, OR: 1.51; 95% CI: 1.37, 1.66; men, OR: 1.63; 95% CI: 1.39, 1.91) or high (women, OR: 2.22; 95% CI: 1.99, 2.47; men, OR: 2.39; 95% CI: 2.04, 2.80) uncontrolled eating and women with low (OR: 1.14; 95% CI: 1.01, 1.29) or high (OR: 1.35; 95% CI: 1.18, 1.55) emotional eating habits were more likely to like sweetness than were women without emotional eating habits (Table 4). In both sexes, former dieters were less likely to have a strong liking for sweetness than nondieters.

## Discussion

Sensory liking, which is a strong determinant of dietary intake and weight status (3–5, 7, 47), interacts with other determinants of dietary behavior. The present findings highlighted specific individual profiles associated with a high liking for salty and sweet tastes. To our knowledge, no study has concomitantly investigated individual factors associated with salt and sweet liking in a general population, nor taken into account confounding factors.

Regarding physiologic factors such as age, we observed that a liking for salt increased with age, especially in men, whereas a liking for the sweet taste decreased with age, particularly in women. The strong positive association between age and a liking for salt was in agreement with a previous study (19). However, no difference in the ability to perceive saltiness according to age was found. To our knowledge, available studies did not evidence relations between salt sensitivity and a liking for saltiness (48–51). This suggests that increased salt liking with age may be cultural or due to usual intake, rather than being a biological change in taste sensitivity (19). Results regarding relations between age and sweet liking were in agreement with one previous study (21) but discordant with others (20, 23, 24). Successive generations may acquire preferences for higher levels of sweet, perhaps because of greater exposure to it (21). No mechanistic explanation exists regarding the influence of age on sensory liking, especially because age appears to have a differential influence on liking according to taste.

Behavioral factors such as psychological characteristics affect sensory liking, probably due to modified exposure to foods, because they are known to influence food consumption (25, 26, 52). Indeed, uncontrolled and emotional eating are associated with high intake of sweet and salty foods (25, 26). Consequently, higher exposure to these foods may increase the liking for sweet and salty tastes. Our findings showed that uncontrolled eating was positively associated with a liking for the 2 tastes, particularly for the sweet. Regarding the sweet taste, results are in accordance



with a previous study in women dieters (29), but no study on the salty taste exists. Moreover, cognitive restraint and past weight-loss dieting were inversely associated with a liking for the sweet taste in both genders. This relation had already been shown in long-term weight losers, who have a reduced preference for the sweet taste (30). The fact that cognitive restraint was inversely associated with a liking for salt in men is in contradiction with an experimental study by Kanarek et al. (31) that showed that restrained women had greater preference ratings for salted popcorn than unrestrained women. A liking for popcorn was considered in that study, whereas in our study, several foods and eating situations were proposed in order to measure liking for the salty taste. We can assume that hedonic responses reflect cognitive beliefs about the type of stimuli chosen, i.e., food or drink (31). We also found that high salt liking was positively associated with past dieting in women, in accordance with the study by Kanarek et al. (31). The reduction in high-calorie foods during a weight-loss diet, such as fatty-sweetened and fatty-salted foods (53), could lead subjects to offset the taste of their usual diet by adding more salt, and might further modify their sensory liking. Finally, emotional eating was positively associated with a liking for the sweet taste in women. This is in agreement with previous studies on dietary intake that showed that emotional eaters reported a high consumption of snack foods such as cakes, biscuits, and oleaginous fruits (25, 26). No association was observed for the salty taste, suggesting that emotional eating is probably specific to taste.

Regarding lifestyle characteristics, we presumed that both physiologic and behavioral mechanisms influenced sensory liking for saltiness and sweetness. Smokers and alcohol drinkers were more likely to like saltiness, whereas women smokers were less likely to like sweetness. In experimental studies, smokers had a lower liking for the sweet taste (34, 54) and higher sucrose detection thresholds than never-smokers (38). One physiologic explanation for modification of taste detection is that nicotine plays a role in the modulation of taste signals (55), but we cannot explain taste specificity, i.e., the fact that smokers like more saltiness and less sweetness than nonsmokers. Furthermore, no study has specifically studied the influence of smoking on salt liking. One potential cultural explanation could be that, because current smokers consume more fatty-salted foods (e.g., cheese, processed meat, and potato chips) and fewer fatty-sweetened foods than never-smokers, salt and sweet liking may be influenced (9). Our previous study also supported this idea, because it pointed out that smokers had a high liking for the fat-and-salt sensation, but showed no difference in fat-and-sweet liking compared with nonsmokers (44). Regarding alcohol intake, an experimental study showed that consumption of high doses of alcohol alters the perception of the salty taste and promotes consumption of fatty-salted foods (56). Moreover, it has been shown that fatty-salted products such as appetizers and cheese are commonly eaten with alcoholic beverages in French adults (9). No clear-cut mechanism can explain this finding, but we hypothesize that a physiologic modification occurs due to alcohol consumption. Further, there may be a cultural explanation, as shown above for tobacco use.

Interpretation of these results must take into account the fact that subjects were volunteers and thus were probably more concerned about healthy lifestyle and nutrition than the general population. Furthermore, the large sample size of our population may have been a constraint, because significant results were found even when the difference between groups was small, notably with differences in liking scores between men and women. We therefore interpreted as significant only those results for which a *P* value was significant according to the Bonferroni correction, and

the OR and 95% CI did not include the number 1. Moreover, the sample size and diversity of collected data enabled a highly accurate estimate and adjustment for several confounders. This also allowed us to observe the independent effects of each variable. The cross-sectional design of the study was also a limitation, and prevented inference of causality between individual factors and sensory liking. Another limitation was that the data were self-reported and thus may not have been as accurate as measured data. Indeed, compared with liking assessed by sensory analysis, self-reported liking with the use of a questionnaire can lead to misreporting. However, positive correlations between the present questionnaire and sensory test measurements have been shown previously (Deglaire et al. Oral communication at the 9th Pangborn Sensory Science Symposium 2011). Thus, the present questionnaire (42) can serve as a proxy for sensory test measurements of liking. In addition, another study conducted in the NutriNet-Santé cohort showed a high level of agreement between web-based and paper versions of socio-demographic questionnaires (57). Finally, because our study investigated sensory liking with the use of epidemiologic methodology, some discordance between our results and the literature might be explained by differences in the methods employed. Indeed, we used a questionnaire, whereas other experimental studies generally used direct measures (e.g., solutions with salt or sugar). Finally, divergent results between our work and previous studies might also be explained by the large sample size, which enabled identifying relations probably not noticeable in small samples.

In conclusion, the present study highlights specific individual profiles associated with a liking for salty and sweet tastes. A liking for salt increased with age, whereas sweet liking decreased. Smokers and alcohol consumers showed a high liking for salt, whereas smokers had a low sweet liking. Furthermore, cognitive restraint was inversely associated with a liking for sweet and salty tastes, whereas a liking for the 2 tastes was higher among uncontrolled eaters, and sweet liking was higher in emotional women. Thus, further studies using structural equation models would be useful for better understanding the relation between sensory liking and individual factors and their interrelations. Underlying mechanisms should also be investigated to understand their potential influence on dietary behavior and weight status.

#### Acknowledgments

We thank Younes Esseddik, Paul Flanzy, Mohand Ait Oufella, Yasmina Chelghoum, and Than Duong Van (computer scientists), Elise Martin (communication assistant), Nathalie Arnault, Véronique Gourlet, Fabien Szabo, Laurent Bourhis, and Stephen Besseau (statisticians), and Rachida Mehroug (logistics assistant) for their technical contribution to the NutriNet-Santé study. We also thank Christine Urbano from the Center for Taste and Feeding Behavior. We thank Jerri Bram for English editing of the manuscript. PS, AD, KC, SP, SH, and CM designed the research; AL, SP, SH, and CM conducted the research; AL performed the statistical analysis; AL and CM wrote the paper. AL had primary responsibility for final content. All authors read and approved the final manuscript.

#### References

1. Asaria P, Chisholm D, Mathers C, Ezzati M, Beaglehole R. Chronic disease prevention: health effects and financial costs of strategies to reduce salt intake and control tobacco use. *Lancet* 2007;370:2044–53.



2. World Health Organization Diet, nutrition and the prevention of chronic diseases. Joint WHO/FAO Expert Consultation. WHO Technical Report Series. Geneva: WHO; 2003. Report No.: 916.
3. Drewnowski A. Taste preferences and food intake. *Annu Rev Nutr* 1997;17:237–53.
4. Drewnowski A, Henderson SA, Levine A, Hann C. Taste and food preferences as predictors of dietary practices in young women. *Public Health Nutr* 1999;2:513–9.
5. Duffy VB, Hayes JE, Sullivan BS, Faghri P. Surveying food and beverage liking: a tool for epidemiological studies to connect chemosensation with health outcomes. *Ann N Y Acad Sci* 2009;1170:558–68.
6. Glanz K, Basil M, Maibach E, Goldberg J, Snyder D. Why Americans eat what they do: taste, nutrition, cost, convenience, and weight control concerns as influences on food consumption. *J Am Diet Assoc* 1998;98:1118–26.
7. Mela DJ. Food choice and intake: the human factor. *Proc Nutr Soc* 1999;58:513–21.
8. Andreeva VA, Martin C, Issanchou S, Hercberg S, Kesse-Guyot E, Mejean C. Sociodemographic profiles regarding bitter food consumption: cross-sectional evidence from a general French population. *Appetite* 2013;67:53–60.
9. Méjean C, Macouillard P, Castetbon K, Kesse-Guyot E, Hercberg S. Socio-economic, demographic, lifestyle and health characteristics associated with consumption of fatty-sweetened and fatty-salted foods in middle-aged French adults. *Br J Nutr* 2011;105:776–86.
10. Keskitalo K, Tuorila H, Spector TD, Cherkas LF, Knaapila A, Kaprio J, Silventoinen K, Perola M. The Three-Factor Eating Questionnaire, body mass index, and responses to sweet and salty fatty foods: a twin study of genetic and environmental associations. *Am J Clin Nutr* 2008;88:263–71.
11. Godley J, McLaren L. Socioeconomic status and body mass index in Canada: exploring measures and mechanisms. *Can Rev Sociol* 2010;47:381–403.
12. Fraser GE, Welch A, Luben R, Bingham SA, Day NE. The effect of age, sex, and education on food consumption of a middle-aged English cohort-EPIC in East Anglia. *Prev Med* 2000;30:26–34.
13. Wardle J, Haase AM, Steptoe A, Nillapun M, Jonwutiwes K, Bellisle F. Gender differences in food choice: the contribution of health beliefs and dieting. *Ann Behav Med* 2004;27:107–16.
14. Verma P, Mittal S, Ghildiyal A, Chaudhary L, Mahajan KK. Salt preference: age and sex related variability. *Indian J Physiol Pharmacol* 2007;51:91–5.
15. Conner MT, Booth DA. Preferred sweetness of a lime drink and preference for sweet over non-sweet foods, related to sex and reported age and body weight. *Appetite* 1988;10:25–35.
16. Enns MP, Van Itallie TB, Grinker JA. Contributions of age, sex and degree of fatness on preferences and magnitude estimations for sucrose in humans. *Physiol Behav* 1979;22:999–1003.
17. Drewnowski A, Henderson SA, Driscoll A, Rolls BJ. Salt taste perceptions and preferences are unrelated to sodium consumption in healthy older adults. *J Am Diet Assoc* 1996;96:471–4.
18. Mennella JA, Finkbeiner S, Lipchock SV, Hwang LD, Reed DR. Preferences for salty and sweet tastes are elevated and related to each other during childhood. *PLoS ONE* 2014;9:e92201.
19. Zallen EM, Hooks LB, O'Brien K. Salt taste preferences and perceptions of elderly and young adults. *J Am Diet Assoc* 1990;90:947–50.
20. de Graaf C, Van Staveren W, Burema J. Psychophysical and psychohedonic functions of four common food flavours in elderly subjects. *Chem Senses* 1996;21:293–302.
21. Desor JA, Beauchamp GK. Longitudinal changes in sweet preferences in humans. *Physiol Behav* 1987;39:639–41.
22. Drewnowski A. Sensory preferences for fat and sugar in adolescence and adult life. *Ann N Y Acad Sci* 1989;561:243–50.
23. Kozłowska K, Jeruzska M, Matuszewska I, Roszkowski W, Barylko-Pikielna N, Brzozowska A. Hedonic tests in different locations as predictors of apple juice consumption at home in elderly and young subjects. *Food Qual Prefer* 2003;14:653–61.
24. Mojet J, Heidema J, Christ-Hazelhof E. Taste perception with age: generic or specific losses in supra-threshold intensities of five taste qualities? *Chem Senses* 2003;28:397–413.
25. Camilleri GM, Mejean C, Kesse-Guyot E, Andreeva VA, Bellisle F, Hercberg S, Peneau S. The associations between emotional eating and consumption of energy-dense snack foods are modified by sex and depressive symptomatology. *J Nutr* 2014;144:1264–73.
26. de Lauzon B, Romon M, Deschamps V, Lafay L, Borys JM, Karlsson J, Ducimetiere P, Charles MA. The Three-Factor Eating Questionnaire-R18 is able to distinguish among different eating patterns in a general population. *J Nutr* 2004;134:2372–80.
27. Karlsson J, Persson LO, Sjöström L, Sullivan M. Psychometric properties and factor structure of the Three-Factor Eating Questionnaire (TFEQ) in obese men and women. Results from the Swedish Obese Subjects (SOS) study. *Int J Obes Relat Metab Disord* 2000;24:1715–25.
28. Tholin S, Rasmussen F, Tynelius P, Karlsson J. Genetic and environmental influences on eating behavior: the Swedish Young Male Twins Study. *Am J Clin Nutr* 2005;81:564–9.
29. Lahteenmäki L, Tuorila H. Three-factor eating questionnaire and the use and liking of sweet and fat among dieters. *Physiol Behav* 1995;57:81–8.
30. Kleifield EI, Lowe MR. Weight loss and sweetness preferences: the effects of recent versus past weight loss. *Physiol Behav* 1991;49:1037–42.
31. Kanarek RB, Ryu M, Przypek J. Preferences for foods with varying levels of salt and fat differ as a function of dietary restraint and exercise but not menstrual cycle. *Physiol Behav* 1995;57:821–6.
32. Chang H-H, Just RJ, Lin B-H. Smoking, drinking, and the distribution of adult body weight. *Soc Sci J* 2010;47:372–91.
33. de Castro JM, Taylor T. Smoking status relationships with the food and fluid intakes of free-living humans. *Nutrition* 2008;24:109–19.
34. Grundberg NE. The effects of nicotine and cigarette smoking on food consumption and taste preferences. *Addict Behav* 1982;7:317–31.
35. Pomerleau CS, Garcia AW, Drewnowski A, Pomerleau OF. Sweet taste preference in women smokers: comparison with nonsmokers and effects of menstrual phase and nicotine abstinence. *Pharmacol Biochem Behav* 1991;40:995–9.
36. Kampov-Polevoy AB, Garbutt JC, Janowsky DS. Association between preference for sweets and excessive alcohol intake: a review of animal and human studies. *Alcohol Alcohol* 1999;34:386–95.
37. Kampov-Polevoy AB, Eick C, Boland G, Khalitov E, Crews FT. Sweet liking, novelty seeking, and gender predict alcoholic status. *Alcohol Clin Exp Res* 2004;28:1291–8.
38. Pepino MY, Mennella JA. Effects of cigarette smoking and family history of alcoholism on sweet taste perception and food cravings in women. *Alcohol Clin Exp Res* 2007;31:1891–9.
39. Deglaire A, Méjean C, Castetbon K, Kesse-Guyot E, Hercberg S, Schlich P. Associations between weight status and liking scores for sweet, salt and fat according to the gender in adults (The Nutrinet-Sante study). *Eur J Clin Nutr* 2015;69:40–6.
40. Hercberg S, Castetbon K, Czernichow S, Malon A, Méjean C, Kesse E, Touvier M, Galan P. The Nutrinet-Sante Study: a web-based prospective study on the relationship between nutrition and health and determinants of dietary patterns and nutritional status. *BMC Public Health* 2010;10:242.
41. Mela DJ. Why do we like what we like? *J Sci Food Agric* 2000;81:10–6.
42. Deglaire A, Mejean C, Castetbon K, Kesse-Guyot E, Urbano C, Hercberg S, Schlich P. Development of a questionnaire to assay recalled liking for salt, sweet and fat. *Food Qual Prefer* 2012;23:110–24.
43. Stunkard AJ, Messick S. The three-factor eating questionnaire to measure dietary restraint, disinhibition and hunger. *J Psychosom Res* 1985;29:71–83.
44. Lampuré A, Deglaire A, Schlich P, Castetbon K, Peneau S, Hercberg S, Méjean C. Liking for fat is associated with sociodemographic, psychological, lifestyle and health characteristics. *Br J Nutr* 2014;112:1353–63.
45. Hercberg S, Chat-Yung S, Chauillac M. The French National Nutrition and Health Program: 2001–2006–2010. *Int J Public Health* 2008;53:68–77.
46. Eigenbrodt ML, Mosley TH, Jr, Hutchinson RG, Watson RL, Chambless LE, Szklo M. Alcohol consumption with age: a cross-sectional and longitudinal study of the Atherosclerosis Risk in Communities (ARIC) study, 1987–1995. *Am J Epidemiol* 2001;153:1102–11.
47. Méjean C, Deglaire A, Kesse-Guyot E, Hercberg S, Schlich P, Castetbon K. Association between intake of nutrients and food groups and liking for fat (The Nutrinet-Sante Study). *Appetite* 2014;78:147–55.
48. Bertino M, Beauchamp GK, Engelman K. Long-term reduction in dietary sodium alters the taste of salt. *Am J Clin Nutr* 1982;36:1134–44.
49. DiNicolantonio R, Teow BH, Morgan TO. Sodium detection threshold and preference for sodium chloride in humans on high and low sodium diets. *Clin Exp Pharmacol Physiol* 1984;11:335–8.



50. Mitchell M, Brunton NP, Wilkinson MG. The influence of salt taste threshold on acceptability and purchase intent of reformulated reduced sodium vegetables soups. *Food Qual Prefer* 2013;28:356–60.
51. Teow BH, Di NR, Morgan TO. Sodium chloride preference and recognition threshold in normotensive subjects on high and low salt diet. *Clin Exp Hypertens A* 1985–1986;7:1681–95.
52. de Castro JM, Lilenfeld LR. Influence of heredity on dietary restraint, disinhibition, and perceived hunger in humans. *Nutrition* 2005;21:446–55.
53. Blair JA, Booth DA, Lewis VJ, Wainwright CJ. The relative success of official and informal weight reduction techniques: retrospective correlational evidence. *Psychol Health* 1989;3:195–206.
54. Perrin MJ, Krut LH, Bronte-Stewart B. Smoking and food preferences. *BMJ* 1961;1:387–8.
55. Simons CT, Boucher Y, Carstens MI, Carstens E. Nicotine suppression of gustatory responses of neurons in the nucleus of the solitary tract. *J Neurophysiol* 2006;96:1877–86.
56. Caton SJ, Ball M, Ahern A, Hetherington MM. Dose-dependent effects of alcohol on appetite and food intake. *Physiol Behav* 2004;81:51–8.
57. Vergnaud AC, Touvier M, Méjean C, Kesse-Guyot E, Pollet C, Malon A, Castetbon K, Hercberg S. Agreement between web-based and paper versions of a socio-demographic questionnaire in the NutriNet-Sante study. *Int J Public Health* 2011;56:407–17.

### **3 Association entre l'attirance sensorielle pour le gras, le salé et le sucré et le risque prospectif d'obésité. Etude de l'effet médiateur de l'alimentation**

Des nombreuses études ont souligné que l'attirance sensorielle pour le gras, le salé et le sucré pourrait influencer les comportements alimentaires, avec une alimentation plus défavorable à la santé chez les individus ayant une attirance élevée. Par ailleurs, des études transversales ont montré une association positive entre l'attirance pour le gras et l'indice de masse corporelle, et des résultats contradictoires concernant l'attirance pour le sucré et le salé. Les seules études prospectives sur le sujet (Matsushita, 2009; Salbe, 2004) ont mis en évidence des résultats opposés et présentent des limites méthodologiques importantes (petits échantillons ou outil non validé pour mesurer l'attirance sensorielle).

Les objectifs de ce travail étaient d'estimer l'association prospective entre l'attirance pour le gras, le salé et le sucré mesurée avec un questionnaire validé (PrefQuest), et le risque d'obésité sur 5 ans, et d'évaluer l'effet médiateur de l'alimentation sur cette relation.

L'étude a été réalisée sur 24 776 adultes participant à la cohorte NutriNet-Santé. Les données d'attirance sensorielle ont été récoltées à l'inclusion via un questionnaire développé et validé permettant l'évaluation de l'attirance sensorielle sur de larges échantillons. Les scores d'attirance pour le gras, le salé et le sucré ont été divisés selon les quartiles sexe-spécifiques afin de définir des niveaux d'attirance. Par ailleurs, les données anthropométriques déclaratives ont été recueillies annuellement pendant 5 ans. L'influence de l'attirance pour le gras, le salé et le sucré sur le risque d'obésité a été modélisée en trois étapes à l'aide de modèles de Cox avec l'échelle de temps basée sur l'âge et stratifiés sur le sexe : 1) modèle de base non ajusté ; 2) modèle mesurant le potentiel facteur médiateur de l'alimentation avec l'ajout des variables alimentaires : apports en fruits, viande, charcuterie, lait et yaourt, fromage, huile, produits céréaliers complets, sucre et produits sucrés, produits gras-sucrés, boissons sucrées, boissons édulcorées, apport énergétique total et saisonnalité ; 3) modèle avec variables alimentaires et ajusté sur les facteurs de confusion démographiques, socioéconomiques et de mode de vie. L'ampleur de l'effet médiateur a été estimée par le pourcentage de réduction du hazard ratio (HR) et la part de réduction de la déviance attribuable à l'attirance sensorielle, pris en compte par l'introduction des facteurs médiateur ou de confusion (RD).

Chez les hommes et les femmes, une forte attirance pour le gras (4ème quartile) est associée à un risque d'obésité plus élevé dans le modèle de base (H: HR=2,39 IC<sub>95%</sub>

[1,39;4,11]; F: HR=2,02 [1,54;2,71]). Les consommations alimentaires contribuent à expliquer 31% et 38% de la réduction des HR, chez les hommes et les femmes respectivement. De plus, les consommations alimentaires contribuent à expliquer respectivement 32% et 52% de l'effet de l'attirance sensorielle pour le gras sur le risque d'obésité (RD). Une alimentation plus fréquemment défavorable à la santé a été observée chez les sujets fortement attirés par le gras. En revanche, une association inverse est observable chez les sujets très fortement attirés par le sucré dans le modèle de base (H: HR=0,51 [0,31;0,83]; F: HR=0,72 [0,54;0,96]) qui devient non-significative quand les consommations alimentaires sont ajoutées dans le modèle. Elles contribuent à expliquer 31% et 76% de l'effet de l'attirance pour le sucré sur le risque d'obésité chez les hommes et les femmes, respectivement (RD). Cette relation inverse est attribuable à l'un des sous-facteurs de l'attirance pour le sucré, l'attirance pour les sucres naturels, qui est associée à une diminution du risque d'obésité sur 5 ans (H: HR=0,44 [0,27;0,71]; F: HR=0,50 [0,39;0,65]). Les participants avec une forte attirance pour les sucres naturels ont des consommations de meilleure qualité nutritionnelle qui pourraient expliquer cet effet bénéfique. Enfin, il n'y a aucune association significative chez les hommes et les femmes entre le score d'attirance pour le salé et la survenue de l'obésité.

Une attirance plus élevée pour le gras apparaît comme un facteur prédictif de l'obésité, et cette relation est en partie expliquée par l'effet médiateur de l'alimentation. En revanche, l'attirance pour les sucres naturels est associée avec une réduction du risque d'obésité en partie expliquée par une alimentation de meilleure qualité nutritionnelle chez les sujets fortement attirés. Ainsi, ces résultats appuient que l'attirance sensorielle doit être considérée dans la prise en charge des personnes à risque nutritionnel.

Lampuré A, Castetbon K, Deglaire A, Schlich P, Péneau S, Hercberg S, Méjean C. **Association between liking for fat, sweet or salt and obesity risk in French adults: a prospective cohort study.** *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity* (2016), 13, 1-15.



RESEARCH

Open Access



# Associations between liking for fat, sweet or salt and obesity risk in French adults: a prospective cohort study

Aurélie Lampuré<sup>1\*</sup>, Katia Castetbon<sup>2,3</sup>, Amélie Deglaire<sup>4,5</sup>, Pascal Schlich<sup>5</sup>, Sandrine Péneau<sup>1</sup>, Serge Hercberg<sup>1,2,6</sup> and Caroline Méjean<sup>1</sup>

## Abstract

**Background:** Individual sensory liking appears to be an important determinant of dietary intake and may consequently influence weight status. Cross-sectional studies have shown positive association between fat liking and weight status and equivocal results regarding salt and sweet liking. Moreover, the contribution of dietary intake to explain this relationship has not been studied yet. We investigated the prospective association between sensory liking for fat, sweet or salt and the onset of obesity over 5 years in adults, and the mediating effect of dietary intake.

**Methods:** We prospectively examine the risk of obesity among 24,776 French adults participating in the NutriNet-Santé cohort study. Liking scores and dietary data were assessed at baseline using a validated web-based questionnaire and 24 h records, respectively. Self-reported anthropometric data were collected using web-based questionnaire, each year during 5 years. Associations between quartiles of liking for fat, sweet or salt and obesity risk, and the mediating effect of diet were assessed by multivariate Cox proportional hazards models stratified by gender, adjusted for sociodemographic and lifestyle factors.

**Results:** In both genders, sensory liking for fat was associated with an increased risk of obesity (hazard ratios for quartile 4 compared to quartile 1, men:  $HR_{Q4vs.Q1} = 2.39$  (95 % CI 1.39,4.11) P-trend = 0.0005, women:  $HR_{Q4vs.Q1} = 2.02$  (1.51,2.71) P-trend = <0.0001). Dietary intake explained 32 % in men and 52 % in women of the overall variation of liking for fat in obesity. Sensory liking for sweet was associated with a decreased risk of obesity (men:  $HR_{Q4vs.Q1} = 0.51$  (0.31,0.83) P-trend = 0.01, women:  $HR_{Q4vs.Q1} = 0.72$  (0.54,0.96) P-trend = 0.035). No significant association between salt liking and the risk of obesity was found.

**Conclusions:** Unlike sweet and salt liking, higher liking for fat appears to be a major risk factor of obesity, largely explained by dietary intake. Our findings emphasize the need to centrally position sensory liking in obesity prevention.

**Keywords:** Obesity, Fat sensation, Salty taste, Sweet taste, Sensory liking, Dietary intake, Mediating factor

\* Correspondence: a.lampure@eren.smbh.univ-paris13.fr

<sup>1</sup>Equipe de Recherche en Epidémiologie Nutritionnelle, Centre de Recherche en Epidémiologie et Statistiques, Inserm (U1153), Inra (U1125), Cnam, COMUE Sorbonne Paris Cité, Université Paris 13, 74 rue Marcel Cachin, F-93017 Bobigny Cedex, France

Full list of author information is available at the end of the article





## Background

A large body of literature has suggested the possible role of excessive consumption of fat, sugar and sodium in the etiology of major chronic diseases, including obesity, cardiovascular diseases and some cancers [1, 2]. Most public health programs worldwide target nutritional recommendations, which include limitations on fat, salt and sugar in dietary intake [2]. However, these components contribute to eating pleasure due to the sensory properties they drive, which may promote their overconsumption [3]. Individual sensory liking for fat, sweet or salt therefore appears to be a major determinant of dietary intake and may consequently influence weight status [4, 5].

The majority of cross-sectional studies have highlighted a positive association between fat liking and body mass index (BMI) [5–14] while three studies only have shown no significant association [15–17]. Such discrepancies between studies may be explained by difference in fat liking assessment and statistical methods. Findings regarding sweet and salt liking are more equivocal. Experimental studies have reported no difference in sweet liking across BMI or even a lower sweet liking in obese [7, 15, 18, 19] and one study have reported high sweet liking in lean participants but not in obese individuals [20]. The observational studies conducted in general population found a positive association between sweet liking and BMI [5, 6]. Sweet liking seemed to varied across stimuli [6, 8] and distinct types of hedonic response has been identified regarding liking for sweet [18] which can explained such various findings. Finally, some studies have shown no association between salt liking and BMI [20–23] and other works have highlighted direct [5, 16, 24] or inverse relationships [25]. A recent study also showed that obese were more sensitive to salty taste than non-obese individuals [26]. As cross-sectional design does not allow causal inferences, longitudinal studies assessing the influence of sensory liking on obesity are therefore needed. Only two prospective studies have been conducted regarding the influence of liking for fat and for sweet on change in weight status over time [27, 28]. Salbe et al. have highlighted that a heightened response for sweet and creamy solutions was associated with 5-year weight gain in Pima Indians [28]. However, this study has been conducted in small and highly selected populations, which does not allow generalizing results. Another prospective study has shown that Japanese subjects who liked sweet taste experienced a significantly increase of weight during the 10 years of follow-up and no such difference was found for “rich and heavy” taste, equivalent to fat sensation [27]. Nevertheless, the latter study assessed liking only through two questions, which is not a reliable measure of overall liking [29].

To our knowledge, no study has investigated the contribution of dietary intake to explain the influence of sensory liking on weight status. Even if dietary fat intake

is not directly associated with weight change [30], the influence of fat liking on weight status may therefore be mediated by overall dietary intake rather than fat intake. Previous studies have shown that subjects with high fat liking have higher fat intake but also lower intake of nutrient-dense foods such as fruits and vegetables, dairy products, whole grains products and fish, compared to those with low liking [4, 31–33] which may increase the risk of weight gain and obesity [2]. This emphasizes the need to consider the overall dietary intake, particularly intake of nutrient-dense foods, and not only specific nutrients intake in the relationship between high liking for fat, sweet or salt and the risk of obesity.

The aim of our study was to assess the prospective association between individual liking for fat, sweet or salt and the risk of developing obesity over 5 years, in a large population of French adults. In addition, we also investigated the mediating effect of dietary intake of energy and food groups on the relationship between sensory liking and obesity.

## Methods

### Study population

We used data from the NutriNet-Santé study [34] (in English the NutriNet-Health study), a large web-based observational cohort launched in France in 2009 with a scheduled follow-up of 10 years. It was implemented in a general population and targeted Internet-using adult volunteers. Eligible participants were recruited by a vast multimedia campaign (television, radio, national and regional newspapers, posters, and Internet) called for volunteers and provided details about the study's website [35]. Recruitment information is now maintained on a large number of websites and is regularly updated via professional channels. The key message delivered in the call for volunteers was that nutrition is a protective factor of chronic diseases and in order to highlight specific role of nutritional factors, development of cohort studies is essential. The purpose of the study is to identify nutritional risk factors or protective factors for chronic diseases, which is an essential step in establishing dietary recommendations to prevent the risk of disease and improve the health of the current and future generations. Aspects related to convenience of participation (i.e.,  $\leq 20$  min each month) and confidentiality were also emphasized [36]. In addition, a system of boosting motivation and retention was implemented.

Briefly, in order to be included in the cohort, participants had to fill out an initial set of questionnaires assessing dietary intake, physical activity, anthropometry, lifestyle, socio-economic conditions and health status. As part of their follow-up, the participants complete the same set of questionnaires every year. Moreover, each month, they are invited to fill out complementary



questionnaires related to determinants of food behavior, nutritional and health status. All questionnaires were completed online via the NutriNet-Santé website.

#### Data collection

##### *Assessment of liking for fat, sweet and salt*

Liking for fat, sweet and salt was assessed using PrefQuest, an original web-based questionnaire [29]. This questionnaire assesses overall liking for fat, saltiness and sweetness via several items, enabling an assessment of overall liking, i.e. liking primarily derived from sensation independently of the food product. It was internally validated by studying the underlying structure of each taste using exploratory factor analysis and confirmatory factor analysis [29], and also compared with sensory tests that included 32 food models conducted in a diversified sample ( $n = 557$ ) [37] (Deglaire et al. 2011, personal communication). The salty taste was unidimensional, unlike the sweet taste and the fat sensation. The sweet taste was formed by the factors 'sweet foods', 'added sugar' and 'natural sweetness' and the fat sensation was composed of the fat-and-salt sensation based on 'added fat-and-salt' and 'fatty-salty foods' and the fat-and-sweet sensation based on 'added fat-and-sweet' and 'fatty-sweet foods' [29].

Briefly, PrefQuest is composed by 83 relevant items divided into liking for salt (11 items) and sweet (21 items) tastes, fat-and-salt (31 items) and fat-and-sweet (20 items) sensations. The questionnaire included four types of items: (i) liking for sweets, fatty-sweet and fatty-salty foods, rated on a 9-point hedonic scale from "I don't like it/them at all" to "I like it/them very much" (example: How much do you like hamburgers?); (ii) preferred level of salt, sweet, fat-and-salt or fat-and-sweet seasoning using pictures, measured on a 6-point scale from "with no" to "with a lot of" (example: How do you prefer your steak?); (iii) preferred drinks (sweet/sweetened or un-sweetened) on a restaurant menu as a multiple choice question; and (iv) dietary behavior in terms of sweet, salty and fatty foods, measured on a 5-point frequency scale from "never" to "always" (example: Do you salt your dish before tasting?) or a 9-point scale from "not at all" to "a lot" (example: Do you ever eat jam straight out of the jar with a spoon?). For most items, subjects also had the option of checking a non-applicable answer, such as "I have never tasted [this food]" or "I do not like [this food]". In May 2010, 65,683 participants of the NutriNet-Santé cohort were invited to complete this optional questionnaire.

##### *Anthropometric measurements*

Height and weight data were collected at enrollment and each year thereafter by a self-administered anthropometric questionnaire [38]. BMI ( $\text{kg}/\text{m}^2$ ) was calculated as

the ratio of weight to the square of height. Participants with  $\text{BMI} < 25$  were classified as underweight/normal weight, participants with  $25 \leq \text{BMI} < 30$  were considered overweight (excluding obese) and participants with  $\text{BMI} \geq 30$  were considered obese in accordance with WHO reference values [39]. The closest available anthropometric data to the PrefQuest questionnaire were used as the baseline data.

##### *Assessment of dietary intake*

At enrollment and each year thereafter, participants were invited to provide three random 24 h dietary records during a two-week period (1 weekend day and 2 weekdays) [38]. The web-based tool is designed for self-administration on the Internet and based on a secured user-friendly interface, designed by Medical Expert Systems MXS. The web-based dietary assessment method relies on a meal-based approach, recording all foods and beverages (type and quantity) consumed at breakfast, lunch, dinner and all other eating occasions. First, the participant fills in the names of all food items eaten. Next, he/she estimates portion sizes for each reported food and beverage item according to standard measurements (e.g. home containers, grams indicated on the package) or using images available via the interactive interface. These photographs, taken from a validated picture booklet [40], represent more than 250 foods (corresponding to 1 000 generic foods) served in seven different portion sizes. The values for energy were estimated using published nutrient databases [41] and completed for recent market foods and recipes. The accuracy of web-based 24 h dietary records has been assessed by comparing to interviews by trained dietitians [38] and also against 24 h urinary biomarkers [42, 43]. Foods were classified according to the information provided in the French National Nutrition and Health Program guides [44]. Food groups (in grams/day) considered in the present study were vegetables, fruits, meat, processed meat, fish, starchy foods, whole grain products, cheese, milk and yogurt, sugar and sweetened products, sweetened cream desserts, fatty-sweet products, savory sauces, salted snacks and appetizers, oils, butter and other added fats, sugar-sweetened soft drinks, artificially sweetened drinks and alcoholic beverages.

##### *Sociodemographic, lifestyle and behavioral data*

Potential confounding factors of the relationship between sensory liking for fat, sweet or salt and the risk of obesity previously identified [5, 45, 46] were collected using web-based questionnaires at the same time as sensory liking data: age (years), sex, education (elementary school, secondary school, college graduate or advanced degree), smoking status (never, former or current smoker), alcohol consumption (abstainer and irregular



consumer, moderate consumer or heavy drinker), history of dieting (never, former, or current dieter) and physical activity level using the French version of the International Physical Activity Questionnaire [47] (low, moderate or high).

### Statistical analyses

The present analysis focused on participants of the NutriNet-Santé cohort, living in metropolitan France, who had completed the PrefQuest and the set of questionnaires, and who had self-reported weight and height data over 5 years of follow-up. All analyses were performed separately for men and women, since significant sex interactions were found ( $P < 0.05$ ).

Liking scores for fat, sweet and salt were computed as detailed previously [29, 45]. Briefly, all data were linearly transformed into values ranging from 0 to 10 to standardize ratings. First, for each participant, liking scores of each factor composing a sensation/taste were calculated by summing the ratings of the items belonging to the factor and dividing by the number of items of this factor. Next, overall liking scores of a sensation/taste were computed by averaging liking scores of compounding factors. Then, quartiles of scores for fat, sweet and salt were computed in order to define liking levels, from quartile 1 "lowest liking" to quartile 4 "highest liking".

Regarding dietary intake, for each participant, daily mean quantities of the food group (in grams) and energy intake were calculated from at least two 24 h records, weighted according to the day (week or weekend) with the closest data to the PrefQuest questionnaire. Diet-underreporting participants were identified by the method proposed by Black [48]. Briefly, basal metabolic rate (BMR) was estimated by Schofield equations [49] according to sex, age, weight and height collected at enrollment in the study. Energy intake and BMR were compared to a physical activity level of 1.55 or below, the WHO value for 'light' activity, to identify energy-underreporting subjects [48]. They were consequently excluded for analysis. Subjects with two 24 h dietary records ( $n = 1141$ , 4.6 % of the sample), compared to those with three 24 h records, had slightly higher liking for fat and sweet and similar liking for salt. Finally, regarding weight, typing error were identified as aberrant data and deleted.

Comparisons between included and excluded participants were performed using Student's *t*-test and chi-square test, as appropriate. Mean liking scores for fat, sweet and salt were compared between men and women, and between obese participants (baseline or follow-up) using Student's *t*-test, and were presented with their standard deviation. Individual characteristics and dietary intake according to quartiles of liking for fat, sweet and salt were compared using analysis of covariance and chi-

square test, as appropriate. Comparisons between obese and non-obese participants were performed using Student's *t*-test and chi-square test, as appropriate. Cox proportional hazard models, stratified for sex and with age as the primary time variable, were used to calculate hazard ratios (HR) and 95 % confidence intervals for the association between quartiles of liking for fat, sweet and salt and the risk of obesity (1<sup>st</sup> quartile of liking level as reference). First, Cox base models were performed to study the independent effect of liking for fat, sweet and salt on the risk of developing obesity. Then, to assess the mediating effect of dietary intake, we selected food groups for which the intake was associated with obesity risk as well as liking for fat, sweet or salt using Cox or logistic regression models, as appropriate ( $P \leq 0.1$ ) [50]. Secondly, Cox models assessing the mediating effect of dietary intake on the relationship between sensory liking and the risk of obesity were performed adjusted for daily energy intake and month of inclusion to take into account the seasonality in dietary data collection. Thirdly, fully adjusted Cox models were performed by adding confounding factors previously mentioned.

The magnitude of the mediating effect was assessed by the percentage change in the HRs of the different liking groups computed as  $[(\text{HR base model} - \text{HR base model} + \text{mediator}) / (\text{HR base model} - 1)] \times 100$  [51]. Dietary intake was considered as a mediating factor when the percentage change of the HR in at least one of the liking level groups was higher than 10 % and there was no increase of other HRs. Furthermore, we calculated the part of the reduction in deviance attributable to sensory liking for fat sensation, sweet or salty taste, which was accounted for by inclusion of the potential mediator and confounders in the model. This reduction in deviance related to sensory liking, used as an overall statistical test of the mediating effect, quantifies the percentage of the sensory liking impact on the outcome explained by the mediator [52]. The deviance of the model is the mathematical function which compares the observed values of the response variable to those predicted by the model. The deviance of fat, sweet and salt liking in the base model was compared to the deviance of fat, sweet and salt liking in the extended model and the percentage of reduction of deviance due to sensory liking (RD) explained by inclusion of the mediating factor or confounders was calculated as follows  $[(\text{RD due to sensory liking in base model}) - (\text{RD due to sensory liking in base model} + \text{mediator}/\text{confounders}) / \text{RD due to sensory liking in base model}] \times 100$  [51]. To optimize the robustness of the statistical tests, we performed sensitivity analyses. First, we reanalyzed our data after including participants with missing data for confounding factors. Second, we redefined the outcome as the risk of becoming overweight in order to overcome the potential misclassification bias.



The actuarial method was used and assumptions of proportionality were satisfied through examination of the log-log (survival) compared with log-time plots. Data management and statistical analyses were performed using SAS software (version 9.3, SAS Institute Inc, Cary, NC, USA). Tests for linear trend were performed using the ordinal score on quartiles of liking for fat, sweet and salt. A *P*-value <0.05 was considered statistically significant.

## Results

Among the 65,683 participants in the NutriNet-Santé study in May 2010, 49,066 responded to the PrefQuest (75 % participation rate). Among responders, 39,540 had available data for height and weight in 2010. Then, we excluded 4137 subjects who were obese at baseline, 55 participants with aberrant data for height and weight, 4732 lost of follow-up as well as 1528 women who were pregnant at specific time during the follow-up. Moreover, 4312 subjects with missing data for physical activity, alcohol consumption and history of dieting were excluded, which left 24,776 participants available for analysis (18,601 women and 6175 men). Compared with excluded subjects, individuals included in our analysis were older, the percentages of men, of those with high education and of those with no history of dieting were higher, and the proportion of smokers was lower (data not shown).

During a median follow-up of 4 y, 664 individuals became obese (503 women and 161 men). In women (Table 1), fat liking score ranged from 0 to 8.8 with a mean of  $3.8 \pm 1.4$ , sweet liking score ranged from 0 to 9.4 with a mean of  $3.6 \pm 1.3$  and salt liking score ranged from 0 to 10 with a mean of  $3.8 \pm 1.5$ . In men (Table 1), fat liking score ranged from 0 to 9.6 with a mean of  $4.0 \pm 1.4$ , sweet liking score ranged from 0 to 9.6 with a mean of  $4.0 \pm 1.4$  and salt liking score ranged from 0 to 10 with a mean of  $3.8 \pm 1.6$ . Furthermore, an additional analysis showed no significant difference in mean liking scores for fat, sweet and salt between subjects obese at baseline (who were excluded of the analysis sample) and subjects who became obese during the follow-up (data not shown).

Sociodemographic characteristics, lifestyle and dietary intake across quartiles of liking scores for fat, sweet and salt stratified by sex are presented in Tables 2 and 3. Men and women with higher liking for fat, sweet or salt (quartile 4) were more often current smokers, were less physical active, and had higher intake of energy, meat, processed meat and sugar-sweetened soft drinks, whereas they had lower intake of fruits and whole grain products compared with participants with lower liking scores. Furthermore, subjects with high fat liking and high sweet liking were younger, whereas those with high salt liking were older and were more often heavy drinkers.

Lower intakes of fruit, oil, whole grain products, sugar and sugary products, and higher intakes of meat, processed meat, milk and yogurts and artificially sweetened drinks were significantly associated with obesity (Table 4).

Estimates of associations between sensory liking for fat and for sweet and the risk of obesity are presented in Table 5. In base models, higher liking for fat was associated with an increased risk of obesity (Men:  $HR_{Q4vs.Q1} = 2.39$  (95 % CI 1.39,4.11), Women:  $HR_{Q4vs.Q1} = 2.02$  (95 % CI 1.51,2.71)) compared to those with low fat liking (Table 5). Dietary factors explained 31 and 38 % of the decreased HRs in men and women in the highest liking category (quartile 4) respectively, and contribute to explain 32 and 52 % of the overall variation of fat liking in obesity, i.e. reduction in deviance of fat liking. In the fully adjusted model, the associations remained significant in men (*P*-trend = 0.01) and in women (*P*-trend = 0.015), and dietary factors and confounders explained together 36 and 72 % of the overall variation of fat liking, in men and women respectively. When we distinguished fat-and-salt and fat-and-sweet sensations in the overall fat sensation, we showed that liking for fat-and-salt was associated with the risk of obesity in men (base model:  $M: HR_{Q4vs.Q1} = 2.68$  (95 % CI 1.50,4.81)) but not in women (*P*-trend = 0.11). In men, dietary factors explained 27 and 40 % of the decreased HRs in the quartiles 3 and 4 respectively, and contribute to explain 41 % of the overall variation of liking for fat-and-salt in

**Table 1** Quartiles of liking scores for the fat sensation, sweet and salty tastes, *n* = 24,776, NutriNet-Santé cohort, France

Liking scores	Sex	Mean	SD <sup>a</sup>	Quartile 1 "Low liking"	Quartile 2	Quartile 3	Quartile 4 "High liking"
Fat	Women	3.75 <sup>b</sup>	1.40	0.00, 2.76	2.76, 3.65	3.65, 4.64	4.64, 8.80
	Men	3.95	1.42	0.09, 2.97	2.97, 3.86	3.86, 4.84	4.84, 9.61
Sweet	Women	3.64 <sup>b</sup>	1.28	0.00, 2.72	2.72, 3.54	3.54, 4.47	4.47, 9.35
	Men	4.03	1.35	0.12, 3.07	3.07, 3.97	3.97, 4.94	4.94, 9.55
Salt	Women	3.76	1.52	0.00, 2.77	2.77, 3.77	3.77, 4.72	4.72, 10.0
	Men	3.80	1.59	0.00, 2.76	2.77, 3.82	3.82, 4.86	4.87, 10.0

<sup>a</sup> Standard deviations

<sup>b</sup> Different from men, *P* < 0.0001



**Table 2** Baseline characteristics in men  $n = 6175$ , NutriNet-Santé cohort, France

	Quantiles of liking for fat				$P^*$	Quantiles of liking for sweet				$P$	Quantiles of liking for salt				$P$
	Q1	Q2	Q3	Q4		Q1	Q2	Q3	Q4		Q1	Q2	Q3	Q4	
General characteristics															
Age, y	59.4 ± 11.4 <sup>a</sup>	54.3 ± 13.8	51.0 ± 14.6	45.6 ± 15.0	<0.0001	56.0 ± 12.8	53.2 ± 14.1	51.6 ± 14.9	49.6 ± 15.9	<0.0001	50.4 ± 14.6	51.7 ± 14.6	53.4 ± 14.8	54.9 ± 14.2	<0.0001
BMI, kg/m <sup>2</sup>	24.2 ± 2.6	24.2 ± 2.5	24.3 ± 2.6	24.1 ± 2.7	0.22	24.3 ± 2.5	24.2 ± 2.6	24.2 ± 2.6	24.0 ± 2.6	0.02	23.8 ± 2.6	24.0 ± 2.6	24.3 ± 2.6	24.6 ± 2.6	<0.0001
Educational level, %					0.002					0.99					0.21
Elementary school	4.2	2.8	3.0	2.7		3.3	3.1	3.0	3.2		3.5	2.4	2.8	4.0	
Secondary school	37.0	31.4	31.1	32.8		33.6	31.8	32.9	34.1		31.0	32.8	33.6	35.1	
College graduate	22.1	23.0	25.1	23.5		23.4	23.8	23.2	23.2		23.8	24.2	22.8	22.8	
Advanced degree	36.0	42.0	40.0	40.6		38.9	40.7	40.2	38.9		40.9	40.0	40.2	37.5	
Other	0.7	0.8	0.8	0.4		0.8	0.6	0.7	0.6		0.8	0.6	0.6	0.6	
Alcohol consumption <sup>b</sup> , %					0.18					0.001					<0.0001
Abstainer and irregular consumer	30.6	26.9	28.8	29.3		28.3	26.9	27.0	33.4		38.2	29.7	24.8	22.8	
Moderate consumer	56.1	58.5	57.8	55.3		56.6	58.8	58.6	53.6		53.5	57.7	61.2	55.3	
Heavy drinker	13.3	14.6	13.4	15.4		15.1	14.3	14.4	13.0		8.3	12.6	14.0	21.9	
Smoking status, %					<0.0001					<0.0001					<0.0001
Never-smoker	37.1	40.9	43.5	48.4		36.4	41.1	43.4	49.0		50.9	42.8	42.6	33.5	
Former smoker	55.0	47.2	41.3	33.5		53.0	45.3	41.5	37.3		38.1	45.3	45.3	48.4	
Current smoker	7.9	11.9	15.2	18.1		10.6	13.6	15.1	13.7		11.0	11.9	12.1	18.1	
Dieting to lose weight, %					0.38					<0.0001					0.59
Never dieter	32.1	33.0	31.9	32.3		28.0	30.9	34.4	36.1		32.4	33.7	31.6	31.6	
Former dieter	61.5	61.1	63.6	62.1		64.3	63.7	61.2	59.0		62.7	60.3	62.8	62.4	
Current dieter	6.4	5.9	4.5	5.6		7.7	5.4	4.4	4.9		4.9	6.0	5.6	6.0	
Physical activity, %					<0.0001					<0.0001					0.003
Low	14.6	20.2	21.5	25.5		15.0	20.2	22.0	24.7		17.5	19.7	20.8	23.9	
Moderate	33.8	36.0	39.5	38.1		38.4	37.0	36.8	35.2		38.5	36.8	36.8	35.3	
High	51.6	43.8	39.0	36.4		46.6	42.8	41.2	40.1		44.0	43.5	42.4	40.8	
Energy, kcal/day	2177.7 ± 511.5	2261.0 ± 523.2	2314.1 ± 532.3	2403.1 ± 572.8	<0.0001	2170.1 ± 500.4	2260.9 ± 526.7	2331.9 ± 542.1	2393.0 ± 569.5	<0.0001	2226.1 ± 536.6	2260.2 ± 513.7	2311.8 ± 513.7	2359.2 ± 571.2	<0.0001
Food group consumption, g/day															
Fruits	364.2 ± 230.2	307.1 ± 202.9	291.6 ± 193.8	268.5 ± 207.7	<0.0001	335.9 ± 222.4	312.5 ± 214.3	305.5 ± 204.2	277.4 ± 202.4	<0.0001	324.8 ± 226.8	308.6 ± 205.9	312.3 ± 208.9	285.5 ± 204.0	<0.0001
Meat	506 ± 49.2	60.5 ± 52.3	60.8 ± 51.0	60.2 ± 54.7	<0.0001	54.2 ± 50.1	57.3 ± 51.3	57.4 ± 50.7	63.1 ± 55.3	<0.0001	51.1 ± 49.9	54.8 ± 48.3	59.3 ± 50.4	67.0 ± 57.7	<0.0001

**Table 2** Baseline characteristics in men  $n = 6175$ , NutriNet-Santé cohort, France (Continued)

Processed meat	320 ± 36.3	360 ± 37.4	40.2 ± 37.8	469 ± 43.8	<0.0001	35.2 ± 37.7	38.1 ± 37.9	39.2 ± 40.0	42.6 ± 41.2	<0.0001	35.3 ± 38.7	36.2 ± 36.0	39.1 ± 36.9	44.5 ± 44.6	<0.0001
Milk and yogurts	167.6 ± 164.6	168.4 ± 161.8	170.4 ± 158.3	178.7 ± 166.3	0.21	170.4 ± 169.1	160.0 ± 155.5	168.7 ± 158.0	186.0 ± 167.3	0.0001	174.7 ± 161.5	175.6 ± 163.0	177.8 ± 163.5	156.8 ± 162.4	0.001
Cheese	42.5 ± 35.4	48.0 ± 34.8	48.7 ± 36.0	50.6 ± 39.6	<0.0001	44.9 ± 35.7	46.8 ± 35.8	49.8 ± 36.9	48.1 ± 37.7	0.002	44.8 ± 35.6	47.1 ± 36.4	48.3 ± 37.7	49.6 ± 36.4	0.003
Oil	10.7 ± 11.4	10.6 ± 10.5	9.4 ± 9.4	10.0 ± 10.2	0.002	10.4 ± 10.9	10.1 ± 10.3	10.5 ± 10.5	9.7 ± 9.9	0.16	10.1 ± 10.9	9.6 ± 9.6	10.6 ± 10.7	10.4 ± 10.4	0.05
Whole grain products	55.9 ± 76.0	40.3 ± 63.1	33.6 ± 53.9	31.4 ± 53.9	<0.0001	50.9 ± 72.5	42.3 ± 61.4	36.8 ± 60.0	31.1 ± 55.8	<0.0001	47.7 ± 72.1	41.6 ± 60.7	37.2 ± 59.7	34.6 ± 58.1	<0.0001
Sugar and sugary products	29.7 ± 29.4	32.0 ± 30.7	30.1 ± 30.1	28.0 ± 29.5	0.003	20.5 ± 25.3	28.4 ± 27.3	33.3 ± 30.3	37.6 ± 33.5	<0.0001	27.6 ± 29.5	30.7 ± 30.3	30.8 ± 28.3	30.8 ± 31.5	0.005
Fatty-sweet products	52.7 ± 57.4	70.8 ± 62.7	81.2 ± 70.8	92.8 ± 76.5	<0.0001	59.4 ± 62.2	70.1 ± 65.7	81.3 ± 72.3	86.5 ± 71.6	<0.0001	78.4 ± 73.6	75.4 ± 69.0	71.1 ± 64.5	72.5 ± 67.7	0.02
Sugar-sweetened soft drinks	29.3 ± 79.9	39.1 ± 97.3	49.2 ± 132.5	75.1 ± 149.9	<0.0001	29.3 ± 80.6	37.9 ± 101.8	56.4 ± 124.3	69.1 ± 154.1	<0.0001	46.5 ± 106.4	45.6 ± 121.8	46.8 ± 109.4	54.0 ± 137.5	0.18
Artificially sweetened drinks	20.4 ± 107.0	28.4 ± 129.9	26.2 ± 114.8	37.1 ± 128.9	0.002	25.8 ± 115.2	29.1 ± 130.3	28.4 ± 116.0	28.9 ± 120.5	0.86	24.7 ± 111.2	25.5 ± 111.6	31.9 ± 126.0	30.1 ± 132.6	0.26

\* P values are for the comparison between sex-specific quartiles of liking for fat, sweet and salt and were determined by using analysis of covariance or chi-square tests as appropriate

<sup>a</sup> Mean ± SD (all such values)

<sup>b</sup> Male drinkers were categorized as abstainer and irregular consumer ( $\leq 4$  g alcohol/day), moderate consumer ( $>4$  to  $\leq 30$  g alcohol/day), or heavy drinker ( $>30$  g alcohol/day)

**Table 3** Baseline characteristics in women  $n = 18,601$ , NutriNet-Santé cohort, France

	Quartiles of liking for fat				P*	Quartiles of liking for sweet				P	Quartiles of liking for salt				P
	Q1	Q2	Q3	Q4		Q1	Q2	Q3	Q4		Q1	Q2	Q3	Q4	
<b>General characteristics</b>															
Age, y	53.9 ± 11.7	48.6 ± 13.2	44.1 ± 13.4	40.9 ± 13.0	<0.0001	51.3 ± 12.4	48.5 ± 13.0	45.6 ± 13.6	42.1 ± 14.0	<0.0001	45.4 ± 14.0	47.5 ± 13.7	47.6 ± 13.4	47.0 ± 13.6	<0.0001
BMI, kg/m <sup>2</sup>	22.2 ± 2.9	22.5 ± 2.9	22.5 ± 2.8	22.5 ± 2.9	<0.0001	22.4 ± 2.9	22.5 ± 2.8	22.6 ± 2.8	22.2 ± 2.8	<0.0001	22.2 ± 2.9	22.4 ± 2.9	22.5 ± 2.8	22.6 ± 2.9	<0.0001
Educational level, %					<0.0001					0.0003					0.66
Elementary school	3.1	2.5	2.2	2.0		3.1	2.5	2.2	2.0		2.7	2.7	2.3	2.3	
Secondary school	37.3	31.4	29.5	32.9		33.5	32.8	31.5	33.2		33.1	33.1	32.2	32.7	
College graduate	30.3	32.4	33.5	33.4		31.9	31.4	32.1	34.1		31.1	32.6	32.8	33.0	
Advanced degree	28.6	33.0	34.2	31.2		30.8	32.4	33.6	30.2		32.4	31.0	32.1	31.4	
Other	0.7	0.7	0.6	0.5		0.7	0.9	0.6	0.5		0.7	0.6	0.6	0.6	
<b>Alcohol consumption<sup>b</sup>, %</b>															
Abstainer and irregular consumer	54.7	51.5	51.4	54.6	0.002	51.7	50.8	51.9	57.7	<0.0001	61.1	55.0	49.4	46.6	<0.0001
Moderate drinker	38.6	41.0	40.8	38.0		40.3	41.7	40.6	36.0		34.1	38.5	43.5	42.5	
Heavy drinker	6.7	7.5	7.8	7.4		8.0	7.5	7.5	6.3		4.8	6.5	7.0	10.9	
<b>Smoking status, %</b>															
Never-smoker	51.3	52.5	53.1	52.8	<0.0001	47.8	51.2	53.3	57.3	<0.0001	56.0	54.1	52.6	47.0	<0.0001
Former smoker	38.0	34.5	31.6	28.6		38.4	35.1	31.7	27.6		31.6	33.2	33.3	34.6	
Current smoker	10.7	13.0	15.3	18.6	0.0003	13.8	13.7	15.0	15.1	<0.0001	12.4	12.7	14.1	18.4	<0.0001
<b>Dieting to lose weight, %</b>															
Never dieter	17.9	16.9	16.3	16.7		16.2	15.7	16.7	19.1		19.2	17.5	15.8	15.1	
Former dieter	70.6	72.3	71.9	69.6		70.4	72.6	71.6	69.8		69.0	71.2	73.1	71.1	
Current dieter	11.5	10.8	11.8	13.7		13.4	11.7	11.7	11.1		11.8	11.3	11.1	13.8	
<b>Physical activity, %</b>															
Low	15.6	22.6	26.0	31.4	<0.0001	19.8	21.8	24.5	29.6	<0.0001	21.5	21.8	24.8	27.5	<0.0001
Moderate	41.8	44.8	47.0	44.0		42.9	44.4	45.8	44.4		43.5	45.7	44.8	43.5	
High	42.6	32.6	27.0	24.6		37.3	33.8	29.7	26.0		35.0	32.5	30.4	29.0	
Energy, kcal/day	1696.8 ± 397.4	1765.5 ± 397.3	1816.2 ± 414.7	1877.4 ± 448.8	<0.0001	1697.3 ± 397.3	1764.0 ± 409.5	1826.7 ± 417.6	1868.0 ± 436.2	<0.0001	1733.8 ± 412.3	1772.6 ± 411.3	1805.2 ± 411.5	1844.8 ± 437.6	<0.0001
<b>Food group consumption, g/day</b>															
Fruits	312.4 ± 191.1	276.3 ± 173.1	255.1 ± 167.0	226.0 ± 165.8	<0.0001	287.7 ± 191.2	272.6 ± 172.6	264.4 ± 173.1	245.1 ± 169.1	<0.0001	273.8 ± 185.7	270.8 ± 173.1	268.9 ± 174.6	256.3 ± 175.0	<0.0001
Meat	36.5 ± 38.7	40.1 ± 40.9	42.2 ± 40.5	44.5 ± 42.3	<0.0001	39.9 ± 41.3	39.6 ± 39.2	41.3 ± 41.0	42.5 ± 41.3	0.002	37.7 ± 39.9	40.1 ± 39.5	41.4 ± 40.1	44.0 ± 42.9	<0.0001
Processed meat	23.1 ± 26.8	27.8 ± 28.9	30.8 ± 30.8	33.2 ± 32.5	<0.0001	26.6 ± 29.4	28.1 ± 29.2	29.8 ± 30.8	30.6 ± 30.6	<0.0001	26.6 ± 29.6	27.5 ± 29.3	29.1 ± 28.9	31.8 ± 32.0	<0.0001



**Table 3** Baseline characteristics in women  $n = 18,601$ , NutriNet-Santé cohort, France (Continued)

Milk and yogurts	165.7 ± 157.3	167.3 ± 151.3	168.6 ± 152.4	173.3 ± 159.2	0.10	168.8 ± 157.4	164.5 ± 149.7	166.1 ± 149.2	175.5 ± 163.4	0.004	175.1 ± 161.3	170.5 ± 155.3	167.3 ± 149.8	162.0 ± 153.3	0.0005
Cheese	31.1 ± 26.7	34.0 ± 27.7	35.6 ± 28.1	36.3 ± 29.1	<0.0001	32.7 ± 28.4	34.3 ± 27.5	34.9 ± 27.8	35.0 ± 28.1	0.0002	32.9 ± 27.6	34.3 ± 28.3	34.1 ± 27.1	35.6 ± 28.9	<0.0001
Oil	9.6 ± 10.0	9.0 ± 9.4	8.7 ± 8.8	8.7 ± 8.6	<0.0001	9.1 ± 9.4	9.1 ± 9.6	9.0 ± 9.0	8.8 ± 8.8	0.30	8.3 ± 9.2	8.8 ± 8.8	9.3 ± 9.3	9.5 ± 9.6	<0.0001
Whole grain products	45.3 ± 55.1	34.9 ± 45.3	30.5 ± 42.1	26.2 ± 40.7	<0.0001	40.8 ± 50.9	36.8 ± 48.4	32.0 ± 43.6	27.4 ± 42.3	<0.0001	38.9 ± 51.9	35.8 ± 48.3	33.0 ± 43.9	29.2 ± 41.4	<0.0001
Sugar and sugary products	22.4 ± 24.7	22.4 ± 23.2	21.8 ± 23.2	20.7 ± 23.0	0.001	15.6 ± 20.2	21.3 ± 23.2	23.5 ± 22.9	27.0 ± 26.1	<0.0001	20.1 ± 24.0	21.9 ± 22.4	23.1 ± 23.5	22.4 ± 24.1	<0.0001
Fatty-sweet products	48.9 ± 52.9	63.1 ± 56.2	73.3 ± 60.1	84.8 ± 68.2	<0.0001	53.3 ± 56.1	63.1 ± 58.1	72.18 ± 60.6	81.6 ± 65.4	<0.0001	66.9 ± 63.7	66.9 ± 60.6	66.1 ± 57.6	70.2 ± 62.1	0.006
Sugar-sweetened soft drinks	19.3 ± 56.4	28.2 ± 69.4	40.9 ± 95.2	54.6 ± 113.4	<0.0001	21.2 ± 66.8	26.1 ± 69.5	38.6 ± 88.1	57.0 ± 113.1	<0.0001	34.3 ± 84.0	33.4 ± 81.1	34.2 ± 81.4	40.9 ± 101.5	<0.0001
Artificially sweetened drinks	32.1 ± 136.8	36.0 ± 130.1	41.7 ± 134.3	47.0 ± 144.3	<0.0001	39.2 ± 154.3	36.6 ± 124.1	39.3 ± 133.7	41.6 ± 132.4	0.38	37.0 ± 135.3	37.8 ± 136.9	36.6 ± 131.0	45.8 ± 142.8	0.002

\*  $P$  values are for the comparison between sex-specific quartiles of liking for fat, sweet and salt and were determined by using analysis of covariance or chi-square tests as appropriate<sup>a</sup> Mean ± SD (all such values)<sup>b</sup> Female drinkers were categorized as abstainer and irregular consumer ( $\leq 3$  g alcohol/day), moderate consumer ( $>3$  to  $\leq 20$  g alcohol/day), or heavy drinker ( $>20$  g alcohol/day)

**Table 4** Baseline characteristics of subjects who became obese or not during the follow-up  $n = 24,776$ , NutriNet-Santé cohort, France

	Non-obese subjects $n = 24,112$	Obese subjects $n = 664$	$P^*$
General characteristics			
Age, y <sup>a</sup>	48.2 ± 14.2	49.8 ± 13.2	0.004
Sex, % women	75.1	75.8	0.68
BMI, kg/m <sup>2</sup>	22.7 ± 2.8	28.3 ± 1.3	<0.0001
Educational level, %			
Elementary school	2.6	3.8	<0.0001
Secondary school	32.6	42.9	
College graduate	30.1	30.3	
Advanced degree	34.0	22.1	
Other	0.7	0.9	
Alcohol consumption <sup>b</sup> , %			
Abstainer and irregular consumer	46.9	51.7	0.03
Moderate drinker	44.1	39.0	
Heavy drinker	9.0	9.3	
Smoking status, %			
Never-smoker	50.0	46.8	0.15
Former smoker	35.9	39.5	
Current smoker	14.1	13.7	
Dieting to lose weight, %			
Never dieter	21.3	3.6	<0.0001
Former dieter	68.9	67.8	
Current dieter	9.9	28.6	
Physical activity, %			
Low	22.9	39.4	0.0001
Moderate	42.7	36.5	
High	34.5	34.2	
Sensory liking scores			
Liking for fat	3.79 ± 1.4	4.03 ± 1.4	<0.0001
Liking for sweet	3.73 ± 1.3	3.66 ± 1.3	0.12
Liking for salt	3.77 ± 1.5	3.93 ± 1.7	0.007
Food group consumption, g/day			
Fruits	278.7 ± 187.2	233.9 ± 187.8	<0.0001
Meat	44.8 ± 44.1	56.7 ± 52.8	<0.0001
Processed meat	31.1 ± 32.6	37.5 ± 40.8	<0.0001
Milk and yogurts	168.7 ± 156.7	192.4 ± 179.6	0.0001
Cheese	37.6 ± 30.8	35.9 ± 33.9	0.17
Oil	9.3 ± 9.6	8.1 ± 8.6	0.002
Whole grain products	36.0 ± 51.5	28.3 ± 43.3	0.0002

**Table 4** Baseline characteristics of subjects who became obese or not during the follow-up  $n = 24,776$ , NutriNet-Santé cohort, France (Continued)

Sugar and sugary products	24.0 ± 25.5	18.9 ± 24.9	<0.0001
Fatty-sweet products	69.3 ± 63.1	65.0 ± 68.3	0.08
Sugar-sweetened soft drinks	38.8 ± 96.5	40.8 ± 97.9	0.60
Artificially sweetened drinks	35.6 ± 131.8	65.3 ± 165.1	<0.0001
Energy, kcal/day	1915.0 ± 501.1	1864.5 ± 548.2	0.01

\*  $P$  values are for the comparison between obese and non-obese subjects and were determined using Student's  $t$ -test or chi-square test as appropriate

<sup>a</sup> Mean ± SD (all such values)

<sup>b</sup> Male drinkers were categorized as abstainer and irregular consumer ( $\leq 4$  g alcohol/day), moderate consumer ( $>4$  to  $\leq 30$  g alcohol/day), or heavy drinker ( $>30$  g alcohol/day) and female drinkers were categorized as abstainer and irregular consumer ( $\leq 3$  g alcohol/day), moderate consumer ( $>3$  to  $\leq 20$  g alcohol/d), or heavy drinker ( $>20$  g alcohol/d)

obesity. Liking for fat-and-sweet was associated with an increased risk of obesity in women only (base model: W:  $HR_{Q4vs.Q1} = 1.68$  (95 % CI 1.25,2.24)) and dietary factors explained 16 % of the decreased HR in the highest liking quartile and contribute to explain 22 % of the overall variation of liking for fat-and-sweet in obesity.

In base model, sweet liking was associated with decreased risk of obesity (M:  $HR_{Q4vs.Q1} = 0.51$  (95 % CI 0.31,0.83), W:  $HR_{Q4vs.Q1} = 0.72$  (95 % CI 0.54,0.96)) (Table 5). The associations were no longer significant when adding dietary factors which contribute to explain 31 and 76 % of the overall variation of liking for sweet in obesity, in men and women respectively. Detailed analyses in which we have considered the three factors composing the sweet taste: sweet foods, natural sweetness and added sugar were performed. Only liking for natural sweetness was significantly associated with the risk of obesity (base model: M:  $HR_{Q4vs.Q1} = 0.44$  (95 % CI 0.27,0.71), W:  $HR_{Q4vs.Q1} = 0.50$  (95 % CI 0.39,0.65)), but no longer significant when adding dietary intake and confounders. The other factors composing the sweet taste were not associated with the risk of obesity (liking for sweet foods, M:  $P$ -trend = 0.55; W:  $P$ -trend = 0.09 and liking for added sugar, M:  $P$ -trend = 0.44; W:  $P$ -trend = 0.34).

Regarding salt liking, a significant association with the risk of obesity was found in men only (base model:  $P$ -trend = 0.04) but the HRs were not statistically significant. Furthermore, this association was no longer significant when adding dietary factors in the model (data not tabulated).

In sensitivity analyses, results remained unchanged regarding sensory liking for fat, sweet and salt after including participants with missing data for confounders. Then, when the outcome was the risk of overweight, associations became non-significant regarding sweet liking and unchanged for fat and salt liking.



**Table 5** Associations between quartiles of liking for fat, fat-and-salt and fat-and-sweet sensations, liking for sweet taste and natural sweetness and obesity risk from multivariate Cox proportional hazards model, n = 24,776

	Men n = 6175								Women n = 18,601															
	Quartile 2		Quartile 3		Quartile 4		P-trend	RHR1% <sup>b</sup>	RHR2%	RHR3%	RD% <sup>c</sup>	Quartile 2		Quartile 3		Quartile 4		P-trend	RHR1%	RHR2%	RHR3%	RD%		
	HR <sup>a</sup> (95 % CI)	HR (95 % CI)	HR (95 % CI)	HR (95 % CI)	HR (95 % CI)	HR (95 % CI)						HR (95 % CI)	HR (95 % CI)	HR (95 % CI)	HR (95 % CI)	HR (95 % CI)	HR (95 % CI)						HR (95 % CI)	HR (95 % CI)
<b>Fat</b>																								
Base model	1.42 (0.85;2.37)	2.29 (1.29;3.77)	2.39 (1.39;4.11)	0.0005		22	31	32	1.29 (0.98;1.70)	1.41 (1.06;1.89)	2.02 (1.51;2.71)	<0.0001												
Model assessing the mediating effect <sup>d</sup>	1.26 (0.75;2.10)	2.01 (1.21;3.32)	1.96 (1.13;3.41)	0.006	/				1.18 (0.90;1.56)	1.23 (0.92;1.65)	1.63 (1.21;2.20)	0.002	/										38	52
Fully adjusted model <sup>e</sup>	1.24 (0.74;2.07)	1.99 (1.20;3.29)	1.85 (1.07;3.23)	0.01				36	1.20 (0.91;1.57)	1.22 (0.91;1.62)	1.49 (1.09;2.00)	0.015											72	
<b>Fat-and-salt</b>																								
Base model	1.71 (1.01;2.91)	2.40 (1.39;4.12)	2.68 (1.50;4.81)	0.0007					1.52 (1.16;2.00)	1.42 (1.06;1.91)	1.41 (1.02;1.95)	0.11											34	
Model assessing the mediating effect	1.45 (0.85;2.51)	2.02 (1.16;3.50)	2.13 (1.17;3.88)	0.008	/	27	40	41	1.39 (1.06;1.84)	1.25 (0.93;1.69)	1.16 (0.83;1.62)	0.76	/										/	/
Fully adjusted model	1.36 (0.79;2.33)	1.95 (1.12;3.40)	2.06 (1.13;3.78)	0.009				44	1.44 (1.09;1.90)	1.32 (0.98;1.79)	1.17 (0.84;1.64)	0.68											18	
<b>Fat-and-sweet</b>																								
Base model	1.06 (0.66;1.68)	0.93 (0.56;1.54)	1.14 (0.68;1.91)	0.69					1.04 (0.79;1.37)	1.29 (0.97;1.71)	1.68 (1.25;2.24)	<0.0001											22	
Model assessing the mediating effect	1.12 (0.70;1.78)	0.97 (0.58;1.60)	1.13 (0.67;1.91)	0.82	/			16	1.02 (0.77;1.35)	1.24 (0.93;1.64)	1.57 (1.18;2.11)	0.0006	/										16	
Fully adjusted model	1.09 (0.68;1.74)	0.95 (0.57;1.57)	1.04 (0.61;1.76)	0.95				54	1.01 (0.76;1.33)	1.14 (0.86;1.52)	1.37 (1.02;1.84)	0.02											63	
<b>Sweet</b>																								
Base model	0.66 (0.42;1.03)	0.64 (0.40;1.01)	0.51 (0.31;0.83)	0.01					0.85 (0.66;1.09)	0.85 (0.65;1.10)	0.72 (0.54;0.96)	0.035											76	
Model assessing the mediating effect	0.69 (0.43;1.08)	0.74 (0.46;1.17)	0.56 (0.33;0.94)	0.056	/	10		31	0.94 (0.73;1.21)	0.96 (0.74;1.26)	0.86 (0.64;1.15)	0.38	/										/	
Fully adjusted model	0.74 (0.47;1.16)	0.76 (0.47;1.21)	0.59 (0.35;0.99)	0.08				45	0.92 (0.71;1.18)	0.93 (0.71;1.21)	0.82 (0.61;1.10)	0.23											63	
<b>Natural sweetness component</b>																								
Base model	0.83 (0.55;1.23)	0.51 (0.32;0.81)	0.44 (0.27;0.71)	0.002					0.73 (0.57;0.92)	0.66 (0.52;0.84)	0.50 (0.39;0.65)	<0.0001											68	
Model assessing the mediating effect	0.94 (0.63;1.41)	0.66 (0.41;1.05)	0.63 (0.38;1.04)	0.15	/			66	0.82 (0.64;1.03)	0.80 (0.63;1.03)	0.66 (0.51;0.87)	0.03	/										32	
Fully adjusted model	0.92 (0.62;1.39)	0.69 (0.43;1.10)	0.62 (0.37;1.04)	0.20				70	0.83 (0.66;1.06)	0.84 (0.66;1.08)	0.69 (0.53;0.91)	0.07											74	

<sup>a</sup> Reference category is quartile 1 "low liking"  
<sup>b</sup> % RHR: percentage reduction in HR by inclusion of mediator (HR base model - HR base model + mediator)/(HR base model - 1)\*100. RHR1 correspond to the reduction in HR of the quartile 2, RHR2 correspond to the reduction in HR of the quartile 3 and RHR3 correspond to the reduction in HR of the quartile 4. RHR was not calculated when none of the HRs were significant (/)  
<sup>c</sup> % RD: percentage of sensory liking reduction in deviance explained by inclusion of mediator and confounders (reduction in deviance due to sensory liking of base model - (reduction in deviance due to sensory liking of base model + mediator and confounders)/RD due to sensory liking of base model)\*100  
<sup>d</sup> Model assessing the mediating effect: base model + food groups intake (fruits, meat, processed meat, milk and yogurts, cheese, oil, whole grain products, sugar and sugary products, fatty-sweet products, sugar-sweetened soft drinks and artificially sweetened drinks), energy intake and month of inclusion  
<sup>e</sup> Fully adjusted model: model assessing the mediating effect + educational level, alcohol consumption, smoking status, dieting to lose weight and physical activity



## Discussion

This prospective study reinforced results from cross-sectional studies, by highlighting that fat liking was prospectively associated with an increased risk of obesity and diet appeared to substantially explain this relationship. Results have also shown that sweet liking is associated with a decreased risk of obesity, and there is no significant association between salt liking and obesity risk.

Findings regarding the positive association between fat liking and the risk of obesity was concordant with most cross-sectional studies [5, 6, 9–14] and a longitudinal study [28]. Salbe et al. have shown a positive correlation between the hedonic response to sweet and creamy solutions and 5-year weight gain in the Pima Indians ( $n = 123$ ) [28]. However, this same study has also been conducted in a group of white subjects ( $n = 64$ ) and showed no significant association. Statistical analyses were Spearman correlations, so were not adjusted for well-known confounders such as physical activity, history of dieting or socioeconomic status, making the comparison with our results limited. The other available longitudinal study, performing statistical analyses adjusted for several confounding factors, has shown no association between the preference for “rich and heavy” taste and weight changes after 10 years [27]. However, the “rich and heavy” taste cannot be compared to the fat sensation as this referred to fat seasoning only and not to fatty-foods. In addition, only one question was used to assess sensory liking (“Do you like rich and heavy food” answer: dislike/neither/like), that does not allow comparing with our measure of liking for fat (liking for fatty foods, fat seasoning and eating behaviors regarding fat) which has been assessed by 51 items.

We have highlighted that dietary intake substantially explained the relationship between fat liking and the risk of obesity. Indeed, compared to those with low fat liking, subjects with high fat liking had an unhealthier diet [44], according to the French National Nutrition and Health Program, such as higher intake of total energy, meat, processed meat, cheese, fatty-sweet products, sugar-sweetened soft beverages, and lower intake of fruits, oils and whole grain products, concordant with a previous work which has studied the relationship between fat liking and dietary intake [4]. Individuals with high liking for fat may less consume nutrient-dense foods because they find them less tasty; consequently, they may tend to replace healthy foods by their energy-dense variants. Such dietary behaviors represent a nutritional difference between those with high fat liking and those with low liking (e.g. +200 kcal/day in the 4<sup>th</sup> quartile of fat liking) that could have long-term consequences on weight gain and the risk of developing obesity.

Then, regarding components of fat sensation, a relationship between fat-and-salt liking and the risk of

obesity was found in men only, whereas fat-and-sweet liking was associated with the risk of obesity in women only. These findings were in line with previous cross-sectional studies [5, 45] but no such distinction was found between genders. Regarding dietary intake, men with high fat-and-salt liking had also an unhealthier diet compared to those with low fat-and-salt liking and there was the same trend of an unhealthy diet in women with high liking for fat-and-sweet sensation. This specific gender association was concordant with a previous work which has shown higher intake of fatty-sweet products in women [53]. A review on food intake according to gender highlighted that consumption of sweet foods such as cakes, biscuits, puddings and chocolate is tacitly treated by men and women as a marker of femininity in many cultures, and a number of researchers note that meat products are commonly associated in everyday life with such qualities as strength, power and virility, a symbol of masculinity [54]. Our findings regarding fat-and-salt/fat-and-sweet liking and gender are in line with studies on fatty-salty/fatty-sweet foods intake and gender.

Our result showing that liking for sweet taste was inversely associated with the risk of obesity, and in particular liking for natural sweetness, are in line with a previous work of Cox et al. which has shown an association between “liking extremely” and “sweet foods” in lean subjects only, but no association in obese participants [20]. This result could be explained by the fact that individuals with high liking for natural sweetness (added jam, honey, ginger bread) had healthier dietary intake than those who have low liking for natural sweetness, such as higher intake of fruits (women (W): +27 g; men (M): +21 g) and whole grain products (W: +10 g; M: +12 g), and lower intake of meat (W: -6 g; M: -10 g), processed meat (W: -6 g; M: -4 g), sugar-sweetened soft drinks (W: -4 g; M: -4 g) and artificially sweetened drinks (W: -23 g; M: -8 g). However, our results are in contradiction with other studies [6, 19] including a longitudinal study [27]. Discrepancies between findings could be explained by the fact that studies reported in these citations were experimental [6, 19] and the longitudinal one used only one question “Do you like sweet food?” to assess sweet liking [27].

The differential associations of fat liking and sweet liking with the risk of obesity could be explained by several factors. First, subjects with high fat liking seemed to be less physically active and more often on diet than participants with high sweet liking, which could explain their higher risk of obesity. In addition, dietary intake and physical activity were assessed at baseline only. We cannot therefore evaluate the cumulative effects of these behaviors on the risk of obesity during the period of 5 years, that may be differential in subjects with high fat



liking compared with those with high sweet liking. Finally, we could not adjust for the impact of other types of mediators of sensory liking in obesity such as genetics and psychological factors.

The non-significant association between salt liking and the risk of obesity over 5 years in our general population was concordant with most experimental studies [20, 22, 23]. Studies highlighting a significant association between salt liking and BMI were cross-sectional, used an unreliable measure of salt liking [24] or showed very small differences of salt liking scores between BMI categories [5].

Interpretation of the present results must take into account the characteristics of the study. Subjects were volunteers in the NutriNet-Santé cohort and probably more concerned about healthy lifestyle and nutrition than the general population. Caution is therefore needed when interpreting and generalizing the results. The prospective design of the study with the 5 years of follow-up allows us to explore the inference of causality between sensory liking and the risk of obesity. In contrast, individual characteristics and dietary intake were assessed at baseline only, so cumulative effect of these behaviors on the risk of obesity could not be assessed. Furthermore, as sensory liking has also been assessed at baseline, we did not have the evolution of liking over the 5-year period, which could vary. However, baseline sensory liking of excluded obese individuals and participants who became obese were compared and no significant difference has been found. Another potential limitation was that data were self-reported by questionnaire and could be not accurate as measured data. Indeed, compared with liking as assessed by sensory analysis, self-reported liking on a questionnaire may lead to misreporting. Recalled liking can be influenced by the recalled pleasure arising from the sensory cues, but also by other external cues such dietary habit, dietary restraint, social desirability, health considerations and other variables [33, 55]. However, this questionnaire was carefully developed through a series of pretests and pilots that demonstrated its repeatability, feasibility and internal validity [29], and positive correlations with sensory test measurements have been shown (Deglaire et al. 2011 personal communication). In addition, another study performed on a NutriNet-Santé cohort sample has demonstrated the validity of web-based self-reported anthropometric data by comparison with clinical data ( $n = 2513$ ), and has shown that the reporting bias was reasonably small [56]. Finally, because our study investigated sensory liking with an epidemiological approach, some discordance between our results and the literature might be explained by differences in the methods employed. Indeed, we used a questionnaire, whereas other experimental studies generally used direct measures (e.g. solutions with salt or sugar).

## Conclusions

In conclusion, liking for fat sensation is a risk factor of obesity, whereas liking for natural sweetness is associated with a decreased risk of becoming obese. Our findings emphasize the need to consider the influence of sensory liking in the management and prevention of obesity. Taking into account an individual's liking may help dietitians and practitioners provide effective dietary counseling while supporting individual liking. Further studies should be conducted to study relationships between sensory liking and other chronic diseases such as incident diabetes, hypertension or cardiovascular diseases.

## Abbreviations

BMI, body mass index; HR, hazard ratio; M, men; RD, reduction of deviance; RHR, reduction in hazard ratio; W, women.

## Acknowledgments

We thank the scientists, dietitians, technicians and assistants who helped carry out the NutriNet-Santé study, and all dedicated and conscientious volunteers. We especially thank Mohand Ait-Oufella, Paul Flanzky, Yasmina Chelghoum, Véronique Gourlet, Nathalie Arnault and Laurent Bourhis. We thank Voluntis (a healthcare software company) and MXS (a software company specializing in dietary assessment tools) for developing the NutriNet-Santé web-based interface according to our guidelines.

## Sources of support

This work was supported by the French National Research Agency (Agence Nationale de la Recherche) in the context of the 2008 Programme de Recherche "Alimentation et Industries Alimentaires" (EpiPref project, ANR-08-ALIA-006), by the INRA Metaprogramme Did'it (Diet Impact and Determinants Interactions and Transitions), and by the Regional Council of Burgundy France (PARI Agral 1) and the FEDER (European Funding for Regional Economical Development). The NutriNet-Santé study is supported by the following institutions: Ministère de la Santé (DGS), Institut de Veille Sanitaire (InVS), Institut National de la Prévention et de l'Éducation pour la Santé (INPES), Fondation pour la Recherche Médicale (FRM), Institut de Recherche en Santé Publique (IRES-P), Institut National de la Santé et de la Recherche Médicale (INSERM), Institut National de la Recherche Agronomique (INRA), Conservatoire National des Arts et Métiers (CNAM) and Université Paris 13. The first author was supported by grants from the Region Ile-de-France.

## Availability of data and materials

In France, there is a very strict regulation concerning the protection of personal data and privacy making difficult the availability of data (even non-nominal data).

## Authors' contributions

AL conducted the literature review and drafted the manuscript; AL performed analyses; KC, AD, PS, SP, SH and CM were involved in the interpretation of results and critically reviewed the manuscript; and SH and CM were responsible for the development of the design and the protocol of the study. All authors read and approved the final manuscript.

## Competing interests

The authors declare that they have no competing interests.

## Consent for publication

Not applicable.

## Ethics approval and consent to participate

This study was conducted according to guidelines laid down in the Declaration of Helsinki, and all procedures were approved by the Institutional Review Board of the French Institute for Health and Medical Research (IRB Inserm n°0000388FWA00005831) and the "Commission Nationale Informatique et Libertés" (CNIL n°908450 and n°909216). Electronic informed



consent was obtained from all subjects. This study is registered in EudraCT (n°2013-000929-31).

#### Author details

<sup>1</sup>Equipe de Recherche en Epidémiologie Nutritionnelle, Centre de Recherche en Epidémiologie et Statistiques, Inserm (U1153), Inra (U1125), Cnam, COMUE Sorbonne Paris Cité, Université Paris 13, 74 rue Marcel Cachin, F-93017 Bobigny Cedex, France. <sup>2</sup>Institut de veille sanitaire (InVS), Unité de surveillance et d'épidémiologie nutritionnelle (USEN), Université Paris 13, F-93017 Bobigny, France. <sup>3</sup>Ecole de Santé Publique, Centre de Recherche en Epidémiologie, Biostatistiques et Recherche Clinique, Université Libre de Bruxelles, B-1070 Bruxelles, Belgique. <sup>4</sup>Inra, UMR 1253, Science et Technologie du Lait et de l'Œuf, Rennes, France. <sup>5</sup>Centre des Sciences du Goût et de l'Alimentation, UMR 6265 CNRS, UMR 1324 Inra, Dijon, France. <sup>6</sup>Département de Santé Publique, Hôpital Avicenne (AP-HP), Bobigny F-93017, France.

Received: 11 February 2016 Accepted: 24 June 2016

Published online: 04 July 2016

#### References

- American Institute for Cancer Research/World Cancer Research Fund. Food, Nutrition, Physical Activity and the Prevention of Cancer: a global perspective. Washington, DC: American Institute for Cancer Research; 2007.
- World Health Organization. Diet, nutrition and the prevention of chronic diseases. Joint WHO/FAO expert consultation. 916. Geneva: WHO; 2003. WHO Technical Report Series n°916.
- Mela DJ. Eating for pleasure or just wanting to eat? Reconsidering sensory hedonic responses as a driver of obesity. *Appetite*. 2006;47:10–7.
- Mejean C, Deglaire A, Kesse-Guyot E, Hercberg S, Schlich P, Castetbon K. Association between intake of nutrients and food groups and liking for fat (The Nutrinet-Sante Study). *Appetite*. 2014;78:147–55.
- Deglaire A, Mejean C, Castetbon K, Kesse-Guyot E, Hercberg S, Schlich P. Associations between weight status and liking scores for sweet, salt and fat according to the gender in adults (The Nutrinet-Sante study). *Eur J Clin Nutr*. 2015;69:40–6.
- Bartoshuk LM, Duffy VB, Hayes JE, Moskowitz HR, Snyder DJ. Psychophysics of sweet and fat perception in obesity: problems, solutions and new perspectives. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci*. 2006;361:1137–48.
- Duffy VB, Lanier SA, Hutchins HL, Pescatello LS, Johnson MK, Bartoshuk LM. Food preference questionnaire as a screening tool for assessing dietary risk of cardiovascular disease within health risk appraisals. *J Am Diet Assoc*. 2007;107:237–45.
- Drewnowski A, Brunzell JD, Sande K, Iverius PH, Greenwood MR. Sweet tooth reconsidered: taste responsiveness in human obesity. *Physiol Behav*. 1985;35:617–22.
- Cox DN, Hendrie GA, Carty D. Sensitivity, hedonics and preferences for basic tastes and fat amongst adults and children of differing weight status: a comprehensive review. *Food Qual Prefer*. 2016;48:359–67.
- Duffy VB, Hayes JE, Sullivan BS, Faghri P. Surveying food and beverage liking: a tool for epidemiological studies to connect chemosensation with health outcomes. *Ann N Y Acad Sci*. 2009;1170:558–68.
- Lanfer A, Knof K, Barba G, Veidebaum T, Papoutsou S, de HS, et al. Taste preferences in association with dietary habits and weight status in European children: results from the IDEFICS study. *Int J Obes (Lond)*. 2012;36:27–34.
- Mela DJ, Sacchetti DA. Sensory preferences for fats: relationships with diet and body composition. *Am J Clin Nutr*. 1991;53:908–15.
- Nakamura K, Shimai S, Kikuchi S, Tanaka M. Correlation between a liking for fat-rich foods and body fatness in adult Japanese: a gender difference. *Appetite*. 2001;36:1–7.
- Ricketts CD. Fat preferences, dietary fat intake and body composition in children. *Eur J Clin Nutr*. 1997;51:778–81.
- Drewnowski A, Kurth CL, Rahaim JE. Taste preferences in human obesity: environmental and familial factors. *Am J Clin Nutr*. 1991;54:635–41.
- Cox DN, van GM, Hedderley D, Perry L, Moore PB, Mela DJ. Sensory and hedonic judgments of common foods by lean consumers and consumers with obesity. *Obes Res*. 1998;6:438–47.
- Keskitalo K, Tuorila H, Spector TD, Cherkas LF, Knaapila A, Kaprio J, et al. The Three-Factor Eating Questionnaire, body mass index, and responses to sweet and salty fatty foods: a twin study of genetic and environmental associations. *Am J Clin Nutr*. 2008;88:263–71.
- Thompson DA, Moskowitz HR, Campbell RG. Taste and olfaction in human obesity. *Physiol Behav*. 1977;19:335–7.
- Grinker J. Obesity and sweet taste. *Am J Clin Nutr*. 1978;31:1078–87.
- Cox DN, Perry L, Moore PB, Vallis L, Mela DJ. Sensory and hedonic associations with macronutrient and energy intakes of lean and obese consumers. *Int J Obes Relat Metab Disord*. 1999;23:403–10.
- Choong SS, Balan SN, Chua LS, Say YH. Preference and intake frequency of high sodium foods and dishes and their correlations with anthropometric measurements among Malaysian subjects. *Nutr Res Pract*. 2012;6:238–45.
- Malcolm R, O'Neil PM, Hirsch AA, Currey HS, Moskowitz G. Taste hedonics and thresholds in obesity. *Int J Obes*. 1980;4:203–12.
- Pal GK, Adithan C, Dutta TK, Pal P, Nanda N, Syamsundara Kiran AN, et al. Preference for salt contributes to sympathovagal imbalance in the genesis of prehypertension. *Eur J Clin Nutr*. 2013;67:586–91.
- Hashimoto T, Yagami F, Owada M, Sugawara T, Kawamura M. Salt preference according to a questionnaire vs. dietary salt intake estimated by a spot urine method in participants at a health check-up center. *Intern Med*. 2008;47:399–403.
- Donaldson LF, Bennett L, Baic S, Melichar JK. Taste and weight: is there a link? *Am J Clin Nutr*. 2009;90:800S–3.
- Stafford LD, Whittle A. Obese individuals have higher preference and sensitivity to odor of chocolate. *Chem Senses*. 2015;40:279–84.
- Matsushita Y, Mizoue T, Takahashi Y, Isogawa A, Kato M, Inoue M, et al. Taste preferences and body weight change in Japanese adults: the JPHC Study. *Int J Obes (Lond)*. 2009;33:1191–7.
- Salbe AD, DelParigi A, Pratley RE, Drewnowski A, Tataranni PA. Taste preferences and body weight changes in an obesity-prone population. *Am J Clin Nutr*. 2004;79:372–8.
- Deglaire A, Mejean C, Castetbon K, Kesse-Guyot E, Urbano C, Hercberg S, et al. Development of a questionnaire to assay recalled liking for salt, sweet and fat. *Food Qual Prefer*. 2012;23:110–24.
- Forouhi NG, Sharp SJ, Du H, van der AD, Halkjaer J, Schulze MB, et al. Dietary fat intake and subsequent weight change in adults: results from the European Prospective Investigation into Cancer and Nutrition cohorts. *Am J Clin Nutr*. 2009;90:1632–41.
- Nagata C, Sugiyama C, Shimizu H. Nutrient intakes in relation to style of breakfast and taste preferences. *J Epidemiol*. 1998;9:91–8.
- Drewnowski A, Hann C. Food preferences and reported frequencies of food consumption as predictors of current diet in young women. *Am J Clin Nutr*. 1999;70:28–36.
- Drewnowski A, Hann C, Henderson SA, Gorenflo D. Both food preferences and food frequency scores predict fat intakes of women with breast cancer. *J Am Diet Assoc*. 2000;100:1325–33.
- Hercberg S, Castetbon K, Czernichow S, Malon A, Mejean C, Kesse E, et al. The Nutrinet-Sante Study: a web-based prospective study on the relationship between nutrition and health and determinants of dietary patterns and nutritional status. *BMC Public Health*. 2010;10:242.
- Kesse-Guyot E, Andreeva V, Castetbon K, Vernay M, Touvier M, Mejean C, et al. Participant profiles according to recruitment source in a large Web-based prospective study: experience from the Nutrinet-Sante study. *J Med Internet Res*. 2013;15:e205.
- Mejean C, de Szabo EF, Touvier M, Kesse-Guyot E, Julia C, Andreeva VA, et al. Motives for participating in a web-based nutrition cohort according to sociodemographic, lifestyle, and health characteristics: the NutriNet-Sante cohort study. *J Med Internet Res*. 2014;16:e189.
- Urbano C, Deglaire A, Cartier-Lange E, Herbreteau V, Cordelle S, Schlich P. Development of a sensory tool to assess overall liking for fatty, salty and sweet sensations. *Food Qual Pref*. 2016;48:23–32.
- Touvier M, Kesse-Guyot E, Mejean C, Pollet C, Malon A, Castetbon K, et al. Comparison between an interactive web-based self-administered 24 h dietary record and an interview by a dietitian for large-scale epidemiological studies. *Br J Nutr*. 2011;105:1055–64.
- World Health Organization. Physical status: the use and interpretation of anthropometry. Report of a WHO Expert Committee. *World Health Organ Tech Rep Ser*. 1995;854:1–452.
- Le Moullec N, Deheeger M, Preziosi P, Montero P, Valeix P, Rolland-Cachera MF, et al. Validation du manuel photos utilisé pour l'enquête alimentaire de l'étude SU.VI.MAX. *Cah Nutr Diet*. 1996;31:158–64.
- Arnault N, Caillot L, Castetbon K, Coronel SD, V, Fezeu L, Fiquette M, et al. Table de composition des aliments NutriNet-Santé. Paris: Economica; 2013.



42. Lassale C, Castetbon K, Laporte F, Camilleri GM, Deschamps V, Vernay M, et al. Validation of a Web-based, self-administered, non-consecutive-day dietary record tool against urinary biomarkers. *Br J Nutr*. 2015;113:953–62.
43. Lassale C, Castetbon K, Laporte F, Deschamps V, Vernay M, Camilleri GM, et al. Correlations between fruit, vegetables, fish, vitamins, and fatty acids estimated by web-based nonconsecutive dietary records and respective biomarkers of nutritional status. *J Acad Nutr Diet*. 2016;116:427–38.
44. Hercberg S, Chat-Yung S, Chauliac M. The French National Nutrition and Health Program: 2001–2006–2010. *Int J Public Health*. 2008;53:68–77.
45. Lampuré A, Deglaire A, Schlich P, Castetbon K, Peneau S, Hercberg S, et al. Liking for fat is associated with sociodemographic, psychological, lifestyle and health characteristics. *Br J Nutr*. 2014;112:1353–63.
46. Lampuré A, Schlich P, Deglaire A, Castetbon K, Peneau S, Hercberg S, et al. Sociodemographic, psychological, and lifestyle characteristics are associated with a liking for salty and sweet tastes in French adults. *J Nutr*. 2015;145:587–94.
47. Craig CL, Marshall AL, Sjostrom M, Bauman AE, Booth ML, Ainsworth BE, et al. International physical activity questionnaire: 12-country reliability and validity. *Med Sci Sports Exerc*. 2003;35:1381–95.
48. Black AE. Critical evaluation of energy intake using the Goldberg cut-off for energy intake:basal metabolic rate. A practical guide to its calculation, use and limitations. *Int J Obes Relat Metab Disord*. 2000;24:1119–30.
49. Schofield WN. Predicting basal metabolic rate, new standards and review of previous work. *Hum Nutr Clin Nutr*. 1985;39 Suppl 1:5–41.
50. Lang T, Secic M. Predicting values from one or more variables, reporting regression analyses. In: American College of Physicians, editors. *How to report statistics in medicine: annotated guidelines for authors, editors, and reviewers*. 2nd ed. Philadelphia; 2006. p. 85–106.
51. Mejean C, Droomers M, van der Schouw YT, Sluijs I, Czernichow S, Grobbee DE, et al. The contribution of diet and lifestyle to socioeconomic inequalities in cardiovascular morbidity and mortality. *Int J Cardiol*. 2013;168:5190–5.
52. Droomers M, Schrijvers CT, Mackenbach JP. Why do lower educated people continue smoking? Explanations from the longitudinal GLOBE study. *Health Psychol*. 2002;21:263–72.
53. Mejean C, Macouillard P, Castetbon K, Kesse-Guyot E, Hercberg S. Socio-economic, demographic, lifestyle and health characteristics associated with consumption of fatty-sweetened and fatty-salted foods in middle-aged French adults. *Br J Nutr*. 2011;105:776–86.
54. O'Doherty JK, Holm L. Preferences, quantities and concerns: socio-cultural perspectives on the gendered consumption of foods. *Eur J Clin Nutr*. 1999;53:351–9.
55. Rappoport L, Peters GR, Downey R, McCann T, Huff-Corzine L. Gender and age differences in food cognition. *Appetite*. 1993;20:33–52.
56. Lassale C, Peneau S, Touvier M, Julia C, Galan P, Hercberg S, et al. Validity of web-based self-reported weight and height: results of the Nutrinet-Sante study. *J Med Internet Res*. 2013;15:e152.

Submit your next manuscript to BioMed Central and we will help you at every step:

- We accept pre-submission inquiries
- Our selector tool helps you to find the most relevant journal
- We provide round the clock customer support
- Convenient online submission
- Thorough peer review
- Inclusion in PubMed and all major indexing services
- Maximum visibility for your research

Submit your manuscript at  
[www.biomedcentral.com/submit](http://www.biomedcentral.com/submit)





## Résultats complémentaires

En complément des analyses menées avec l'incidence d'obésité, nous avons également conduit des analyses sur d'autres indicateurs du statut pondéral : la variation de poids et la fluctuation pondérale.

### Etude de la variation et de la fluctuation pondérales en lien avec l'attirance pour le gras, le salé et le sucré

La variation relative de poids sur 4 ans a été calculée sur 8813 individus. Cette mesure permet d'évaluer la différence relative de poids, entre le poids de départ et celui collectés à 4 ans. Dans cet échantillon, la moyenne de variation de poids était de  $1,29 \pm 6,44\%$  chez les femmes et de  $0,63 \pm 4,96\%$  chez les hommes. Les moyennes ajustées de variation de poids et les écart-types (ET) ont été estimées par des analyses de covariance, ajustées sur l'âge, l'apport énergétique, le niveau d'éducation, la catégorie socioprofessionnelle, le revenu, le tabac, la consommation d'alcool, le suivi d'un régime pour perdre du poids et la pratique d'activité physique.

La fluctuation pondérale permet de prendre en compte des cycles de prise et de perte de poids, qui peuvent avoir d'importantes répercussions sur la santé (Atkinson, 1994). Elle a été évaluée sur 7560 individus sur une période de 4 ans soit 5 données de poids, permettant de calculer l'écart maximum qui est l'écart entre le poids extrême du cycle et le poids au même âge prédit, un indicateur pertinent de fluctuations pondérales (Verghnaud, 2008). Cette amplitude est ensuite catégorisée de façon à obtenir 4 classes de fluctuations pondérales (FP) qui correspondent à aucune fluctuation (poids stable, gain ou perte : FP1), FP2, FP3 et FP4 correspondent aux tertiles de distribution de l'écart maximum. La catégorie FP2 qui définit une faible fluctuation de poids a été choisie comme catégorie de référence afin d'évaluer également l'effet d'une variation pondérale par rapport à une faible fluctuation. Les rapports de côtes (RC) et les intervalles de confiance à 95% (IC 95%) ont été estimés à l'aide de modèles de régression logistique multinomiale (référence FP2), ajustés sur l'âge, l'apport énergétique, le revenu, la consommation d'alcool, le suivi d'un régime pour perdre du poids et l'activité physique.

Les résultats des analyses sont présentés dans le Tableau 5. Chez les femmes, en accord avec les résultats de l'article sur le risque d'obésité, on observe que plus l'attirance pour le gras est forte, plus la prise de poids et la tendance du poids à fluctuer sont importantes. En revanche, ces associations sont non significatives chez les hommes. Concernant l'attirance pour le sucré, on observe des associations non significatives avec les variations et les fluctuations pondérales chez les hommes et les femmes, avec une tendance inverse

concernant la fluctuation de poids chez les femmes. Pour finir, les associations entre l'attrance pour le salé et les variations et fluctuations pondérales sont non significatives chez les hommes et les femmes, ce qui corrobore les résultats de l'article sur le risque d'obésité.

Tableau 5 : Résultats de l'attirance sensorielle pour le gras, le salé et le sucré en lien avec la variation de poids et la fluctuation pondérale

	Variation relative de poids				Fluctuation de poids								
	Femmes n=6426		Hommes n=2387		Femmes n=5374			Hommes n=2186					
	Moyennes (ET)*	P	Moyennes (ET)	P	FP1**	FP3**	FP4**	P	FP1	FP3	FP4	P	
				RC (IC 95%)***	RC (IC 95%)	RC (IC 95%)		RC (IC 95%)	RC (IC 95%)	RC (IC 95%)			
<b>Attirance pour le gras</b>		<b>0,01</b>		0,13				<b>0,001</b>					0,27
Faible	<b>1,88 (0,34)</b>		2,19 (0,47)			1	1	1		1	1	1	
Modérée faible	<b>2,02 (0,33)</b>		2,81 (0,46)		1,02 (0,81;1,28)	1,00 (0,81;1,24)	<b>1,29 (1,03;1,62)</b>		1,02 (0,70;1,49)	0,79 (0,57;1,09)	1,33 (0,93;1,90)		
Modéré forte	<b>2,40 (0,33)</b>		2,57 (0,45)		1,02 (0,79;1,30)	1,03 (0,83;1,29)	<b>1,41 (1,11;1,79)</b>		0,90 (0,59;1,36)	0,92 (0,65;1,30)	1,33 (0,91;1,94)		
Forte	<b>2,69 (0,33)</b>		2,30 (0,46)		0,93 (0,70;1,23)	1,19 (0,93;1,51)	<b>1,76 (1,37;2,27)</b>		1,03 (0,65;1,62)	0,88 (0,60;1,29)	1,43 (0,95;2,16)		
<b>Attirance pour le sucré</b>		0,48		0,85				0,06					0,15
Faible	2,18 (0,33)		2,59 (0,47)			1	1	1		1	1	1	
Modérée faible	2,28 (0,33)		2,40 (0,46)		0,75 (0,59;0,95)	0,88 (0,71;1,08)	0,78 (0,62;0,97)		0,93 (0,64;1,36)	0,92 (0,65;1,28)	0,97 (0,68;1,39)		
Modéré forte	2,09 (0,33)		2,36 (0,46)		0,85 (0,66;1,08)	0,88 (0,71;1,10)	0,75 (0,59;0,94)		0,54 (0,35;0,82)	0,75 (0,53;1,06)	0,73 (0,50;1,06)		
Forte	2,44 (0,34)		2,53 (0,46)		1,01 (0,77;1,32)	1,08 (0,85;1,38)	0,82 (0,64;1,06)		0,63 (0,40;0,99)	0,93 (0,63;1,35)	0,90 (0,61;1,65)		
<b>Attirance pour le salé</b>		0,88		0,42				0,05					0,68
Faible	2,19 (0,33)		2,65 (0,47)			1	1	1		1	1	1	
Modérée faible	2,32 (0,33)		2,64 (0,64)		0,80 (0,63;1,02)	0,81 (0,66;0,99)	0,77 (0,62;0,96)		0,86 (0,58;1,26)	0,75 (0,54;1,04)	0,94 (0,66;1,33)		
Modéré forte	2,17 (0,33)		2,34 (0,34)		0,98 (0,78;1,24)	0,90 (0,73;1,10)	0,78 (0,63;0,96)		0,81 (0,55;1,20)	0,96 (0,70;1,32)	1,03 (0,73;1,44)		
Forte	2,30 (0,33)		2,24 (0,45)		1,05 (0,82;1,35)	1,00 (0,80;1,25)	1,02 (0,82;1,28)		1,04 (0,69;1,57)	1,01 (0,71;1,43)	1,08 (0,75;1,56)		

\* Les moyennes ajustées et les écart-types (ET) ont été estimées par des analyses de covariance, ajustées sur l'âge, l'apport énergétique, le niveau d'éducation, la position et catégorie socioprofessionnelle, le revenu, le tabac, la consommation d'alcool, le suivi d'un régime pour perdre du poids et la pratique d'activité physique.

\*\* FP1 : aucune fluctuation pondérale, uniquement de la perte, de la prise ou de la stabilisation de poids ; FP2 : tertile 1, faible fluctuation de poids ; FP3 : tertile 2, fluctuation de poids moyenne ; FP4 : tertile 3, forte fluctuation de poids

\*\*\* Les rapports de côtes (RC) et les intervalles de confiance à 95% (IC 95%) ont été estimés à l'aide de modèles de régression logistique multinomiale (référence FP2), ajustés sur l'âge, l'apport énergétique, le revenu, la consommation d'alcool, le suivi d'un régime pour perdre du poids et l'activité physique.



## **4 Rôle relatif des déterminants démographiques, sensoriels, socioéconomiques, psychologiques et de mode de vie, de l'alimentation et de l'activité physique sur la variation de poids sur 5 ans**

Les facteurs sensoriels, psychologiques, socioéconomiques, de mode de vie, les consommations alimentaires, l'activité physique et le statut pondéral forment un ensemble de relations causales complexes. Cependant, les effets relatifs des déterminants, de l'alimentation et de l'activité physique sur les variations de poids n'ont jusqu'ici jamais été étudié.

L'objectif de cette étude était d'établir et de valider un cadre conceptuel causal en estimant l'influence relative de chaque facteur individuel, des consommations alimentaires et de l'activité physique sur la variation de poids sur 5 ans au sein d'une population d'adultes français, chez des sujets normo-pondéraux et des sujets en surpoids.

A l'inclusion, les caractéristiques individuelles, l'activité physique et le poids ont été collectés par questionnaires ainsi que les consommations alimentaires par 3 enregistrements alimentaires de 24h chez 8014 participants à la cohorte NutriNet-Santé. Le poids a été collecté au début du suivi et 5 ans plus tard afin de calculer une variation relative. Les concepts latents issues des analyses factorielles confirmatoires sont l'attirance pour le gras, la consommation d'aliments riches en nutriments, la consommation d'aliments riches en énergie, l'alimentation incontrôlée et émotionnelle et la restriction alimentaire. Les variables manifestes (âge, sexe, niveau d'éducation, revenu, statut tabagique et activité physique) ont été introduites dans le modèle, ainsi que la variable à expliquer qui était la variation de poids relative sur 5 ans. La modélisation par équations structurelles (LISREL) a été choisie pour estimer les associations entre les facteurs individuels, les consommations alimentaires et l'activité physique et leur influence sur la variation de poids, à la fois chez les sujets normo-pondéraux ( $IMC < 25 \text{ kg/m}^2$ ) et ceux en surpoids ( $IMC \geq 25 \text{ kg/m}^2$ ).

Le déterminant majeur de la prise de poids était la restriction alimentaire, avec une influence plus importante que l'effet de l'âge et de la consommation d'aliments riches en énergie, chez les sujets normo-pondéraux et en surpoids. Chez les sujets normo-pondéraux, la consommation d'aliments riches en nutriments et la pratique d'activité physique étaient aussi inversement associés à la prise de poids. Concernant les déterminants de l'alimentation,

l'attirance pour le gras était un déterminant majeur de l'alimentation, avec une plus faible consommation d'aliments riches en nutriments et dans une moindre mesure, une plus forte consommation d'aliments riches en énergie chez les sujets fortement attirés par le gras. Cette influence était plus importante que celles d'autres déterminants connus tels que la restriction alimentaire, le statut socioéconomique ou l'alimentation incontrôlée et émotionnelle. On a également pu observer dans ces deux modèles, l'effet indirect de nombreux déterminants du statut pondéral, dont l'alimentation est le facteur médiateur.

Ce travail original permettant d'évaluer l'influence relative des déterminants sur les consommations alimentaires et la prise de poids est le premier à avoir été conduit dans le domaine. La restriction alimentaire est le prédicteur majeur de la prise de poids et l'attirance sensorielle pour le gras est le déterminant le plus important des consommations alimentaires dans ces modèles. Cela confirme le rôle central de l'attirance sensorielle face à d'autres déterminants dans les choix et les consommations alimentaires, suggéré par quelques précédentes études (Eertmans, 2001; Glanz, 1998).

Lampuré A, Castetbon K, Hanafi M, Deglaire A, Schlich P, Péneau S, Hercberg S, Méjean C.  
**Relative influence of socioeconomic, psychological and sensory characteristics, physical activity and diet on 5-year weight gain.** (soumis)

**Title page**

**Relative influence of socioeconomic, psychological and sensory characteristics, physical activity and diet on 5-year weight gain**

Aurélie Lampuré<sup>1</sup>, Katia Castetbon<sup>2</sup>, Mohamed Hanafi<sup>3</sup>, Amélie Deglaire<sup>4</sup>, Pascal Schlich<sup>5</sup>, Sandrine Péneau<sup>1</sup>, Serge Hercberg<sup>1,6</sup> and Caroline Méjean<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Université Paris 13, Equipe de Recherche en Epidémiologie Nutritionnelle, Centre de Recherche en Epidémiologie et Statistiques, Inserm (U1153), Inra (U1125), Cnam, COMUE Sorbonne Paris Cité, F-93017, Bobigny, France (AL, SP, SH, CM)

<sup>2</sup> Université Libre de Bruxelles, Ecole de Santé Publique, Centre de Recherche en Epidémiologie, Biostatistiques et Recherche Clinique, B-1070 Bruxelles, Belgium (KC).

<sup>3</sup> ONIRIS, Unité de Sensométrie et de Chimiométrie, site de la Géraudière, BP82225, 44322 Nantes Cedex 3, France (MH)

<sup>4</sup> Inra, UMR 1253, Science et Technologie du Lait et de l'Œuf, Rennes, France (AD)

<sup>5</sup> Centre des Sciences du Goût et de l'Alimentation, UMR 6265 CNRS, UMR 1324 Inra, Dijon, France (PS)

<sup>6</sup> Département de Santé Publique, Hôpital Avicenne (AP-HP), Bobigny, F-93017, France (SH)

Lampuré, Castetbon, Hanafi, Deglaire, Schlich, Péneau, Hercberg, Méjean



**Corresponding author:** Aurélie Lampuré

EREN, SMBH Paris 13, 74 rue Marcel Cachin, F-93017 Bobigny Cedex, France

Phone number: 00 33 1 48 38 89 44 / Fax number: 00 33 1 48 38 89 31

E-mail: [a.lampure@eren.smbh.univ-paris13.fr](mailto:a.lampure@eren.smbh.univ-paris13.fr)

### **Sources of support**

This work was supported by the French National Research Agency (Agence Nationale de la Recherche) in the context of the 2008 Programme de Recherche "Alimentation et Industries Alimentaires" (EpiPref project, ANR-08-ALIA-006), by the INRA Metaprogramme Did'It (Diet Impact and Determinants Interactions and Transitions), and by the Regional Council of Burgundy France (PARI Agral 1) and the FEDER (European Funding for Regional Economical Development). The Nutrinet-Santé study is supported by the following institutions: Ministère de la Santé (DGS), Institut de Veille Sanitaire (InVS), Institut National de la Prévention et de l'Education pour la Santé (INPES), Fondation pour la Recherche Médicale (FRM), Institut de Recherche en Santé Publique (IRESP), Institut National de la Santé et de la Recherche Médicale (INSERM), Institut National de la Recherche Agronomique (INRA), Conservatoire National des Arts et Métiers (CNAM) and Université Paris 13. The first author was supported by grants from the Region Ile-de-France.

**Short running head :** Individual factors influencing weight gain

## 1 **Abstract**

2 **Background:** Individual characteristics as well as dietary intake and physical activity  
3 influence weight status; however, the relative contribution of each factor to weight change has  
4 not yet been studied.

5 **Objective:** The aim of the study was to test a conceptual framework by simultaneously  
6 assessing the relative influence of socioeconomic, psychological and sensory characteristics,  
7 physical activity and dietary intake on 5-year weight gain, both in non-overweight and  
8 overweight participants.

9 **Design:** Individual characteristics, physical activity and dietary data were assessed at baseline  
10 in 8,014 participants in the web-based NutriNet-Santé cohort, using web-based questionnaires  
11 and three 24 h records, respectively. Self-reported anthropometric data were collected at  
12 baseline and 5 years later. The relative effect of individual factors, dietary intake and physical  
13 activity on 5-year weight gain was assessed using structural equation modeling in non-  
14 overweight and overweight participants.

15 **Results:** The main predictor of weight gain was dietary restraint, rather than age or intake of  
16 energy-dense foods, both in non-overweight and overweight populations. In non-overweight  
17 individuals only, intake of nutrient-dense foods and physical activity were inversely  
18 associated with weight gain. For dietary intake, high fat liking was the most important  
19 predictor of nutrient-dense food intake and was also related to energy-dense food intake. In  
20 addition, uncontrolled eating was associated with greater intake of energy-dense foods,  
21 whereas strong dietary restraint, high socioeconomic status and physical activity were  
22 associated with greater intake of nutrient-dense foods in both populations.

23 **Conclusions:** Dietary restraint appears to be the main predictor of weight gain in both  
24 populations, ranking ahead of diet and age, whereas physical activity and intake of nutrient-

25 dense food were inversely related to weight gain in non-overweight participants only. Finally,  
26 fat liking was a strong predictor of unhealthy dietary intake. The direct influence of dietary  
27 restraint on weight gain, not explained by diet, warrants further investigation.

28 **Key words:** weight gain; dietary intake; individual factor; physical activity; determinant;  
29 structural equation modeling

30



## 31 **Introduction**

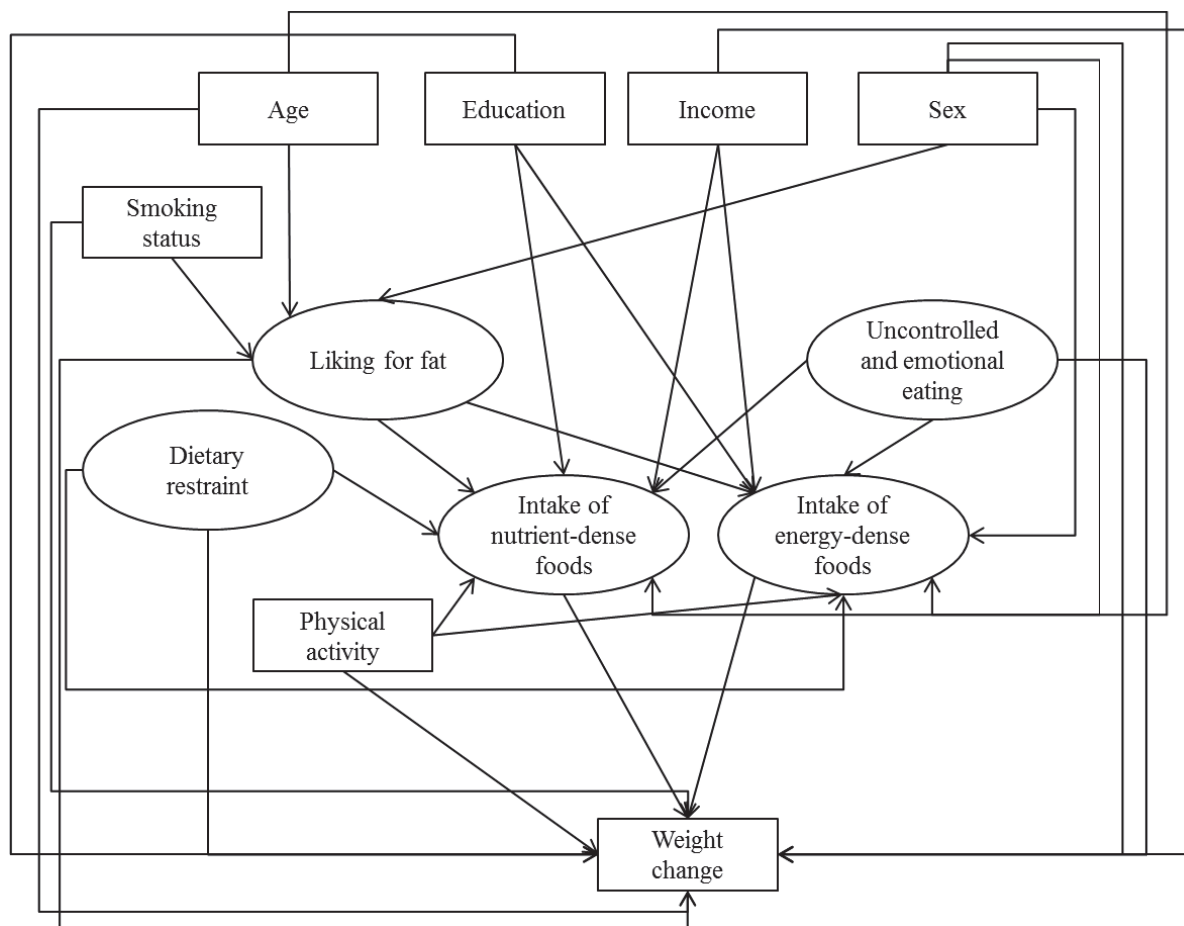
32 Obesity is a worldwide public health concern (1;2), and the potential role of energy-dense  
33 diets as well as the beneficial effects of nutrient-dense foods and physical activity have been  
34 demonstrated (1;3-8). Weight change is therefore mainly influenced by dietary intake and  
35 physical activity (9-14), but may also be affected by more distant determinants interacting  
36 with each other, probably mediated by dietary intake (9;15-18).

37 Individual sensory and psychological characteristics seem to be associated with weight status.  
38 Sensory fat liking is positively associated with body mass index (BMI) (19-21). Thus,  
39 cognitive restraint appears to be positively associated with BMI (22;23), but its relationship to  
40 weight gain is controversial (16;22;23), whereas recent dieting seems to predict subsequent  
41 weight gain (16). Uncontrolled and emotional eating also appear to be associated with higher  
42 BMI (23-25). Distant determinants such as demographic characteristics (sex, age) and  
43 socioeconomic status might also influence weight status (18;26;27). The influence of such  
44 individual characteristics on weight change may be mediated by dietary intake. For sensory  
45 characteristics, subjects with high fat liking have higher fat intake and lower intake of  
46 nutrient-dense foods (28-30). Cognitive restraint is associated with higher vegetable intake  
47 and lower intake of French fries (31), whereas uncontrolled and emotional eating are  
48 associated with higher consumption of energy-dense foods (31;32). Finally, higher  
49 socioeconomic status seems to be associated with better diet quality (33).

50 Although various determinants of weight change have already been identified in the literature,  
51 previous studies focused mainly on specific determinants in relation to weight status. No  
52 study assessed the relative contribution of several determinants on weight status. To our  
53 knowledge, the relative influence of direct and distant determinants of weight status and their  
54 causal paths has not been considered to date. In order to study the hierarchical framework of

55 the effect of direct and distant determinants on weight change, we used a structural equation  
 56 model that enables validating our theoretical model based on the literature (**Figure 1**).

57 The aim of the present study was to validate an a priori conceptual framework by  
 58 simultaneously assessing the relative contribution of sensory, psychological and socio-  
 59 economic characteristics, physical activity and dietary intake on 5-year weight change in two  
 60 samples of non-overweight and overweight participants.



61

62 **Figure 1:** Theoretical model, based on the literature of the association between individual  
 63 characteristics, dietary intake and weight change (latent variables are presented in ovals and  
 64 observed variables are presented in rectangles)

65

## 66 **Subjects and Methods**

### 67 Study population

68 We used data from the NutriNet-Santé study, a large web-based observational cohort  
69 launched in France in 2009 with a scheduled follow-up of 10 years. It was implemented in a  
70 general population and targeted internet-using adult volunteers. The study was designed to  
71 investigate the relationship between nutrition and health, as well as determinants of dietary  
72 behavior and nutritional status (34). Briefly, in order to be included in the cohort, participants  
73 had to fill out an initial set of questionnaires assessing dietary intake, physical activity,  
74 anthropometry, lifestyle, socio-economic conditions and health status. As part of their follow-  
75 up, participants complete the same set of questionnaires every year. Moreover, each month,  
76 they are invited to fill out complementary questionnaires related to determinants of dietary  
77 behavior, nutritional and health status. All questionnaires were completed online via the  
78 NutriNet-Santé website.

79 This study was conducted according to guidelines laid down in the Declaration of Helsinki,  
80 and all procedures were approved by the Institutional Review Board of the French Institute  
81 for Health and Medical Research (IRB Inserm n°0000388FWA00005831) and the  
82 “Commission Nationale Informatique et Libertés” (CNIL n°908450 and n°909216).  
83 Electronic informed consent was obtained from all subjects. This study is registered in  
84 EudraCT (n°2013-000929-31).

### 85 Data collection

86 This longitudinal analysis focused on participants included in the NutriNet-Santé study  
87 between May 2009 and May 2010. Data regarding age, sex, socioeconomic status, smoking,  
88 sensory and psychological factors, physical activity and dietary intake used in this analysis



89 were collected in 2010. Weight and height data were collected in 2010 and 5 years later in  
90 2015.

#### 91 *Assessment of weight and BMI*

92 Height and weight data were collected at baseline and each year thereafter by a self-  
93 administered anthropometric questionnaire (35). BMI ( $\text{kg}/\text{m}^2$ ) was calculated as the ratio of  
94 weight to the square of height. Participants with  $\text{BMI} < 25$  at baseline were classified as non-  
95 overweight (including 332 underweight participants) and participants with  $\text{BMI} \geq 25$  were  
96 considered overweight (including obese) in accordance with WHO reference values (36). The  
97 relative weight change over 5 years was calculated using 5-year weight data subtracting the  
98 baseline weight data, divided by baseline weight data.

#### 99 *Assessment of dietary intake*

100 At enrollment and each year thereafter, participants were invited to provide three random 24 h  
101 dietary records during a two-week period (1 weekend day and 2 weekdays) (35). The dietary  
102 record is completed via an interactive interface and is designed for self-administration on the  
103 internet. The web-based dietary assessment method relies on a meal-based approach,  
104 recording all foods and beverages (type and quantity) consumed at breakfast, lunch, dinner  
105 and all other eating occasions. The accuracy of web-based 24 h dietary records has been  
106 assessed by comparing them to interviews by trained dietitians (35) and against 24 h urinary  
107 biomarkers (37;38). Foods were first classified according to information provided in the  
108 French National Nutrition and Health Program guides (39). For our purpose, several food  
109 groups were merged and formed: fruits and vegetables; meat and processed meat; fish; starchy  
110 foods; whole grain products; cheese; milk and yogurt; salted snacks, appetizers and savory  
111 sauces; oil; butter and other added fats; fatty-sweet products; sweetened beverages; and  
112 alcoholic beverages. For each participant, daily average quantity of each food group (in

113 grams/day) was calculated from 24 h records, including weighting according to the day of the  
114 week (weekdays or weekend). Diet-underreporting participants were identified by the method  
115 proposed by Black (40). They were consequently excluded from analysis.

#### 116 *Assessment of physical activity*

117 Physical activity level was assessed using the French short version of the International  
118 Physical Activity Questionnaire (41). Weekly energy expenditure expressed in MET-  
119 minutes/week was estimated and three levels of physical activity were defined: low (< 30  
120 min/day), moderate (30-60 min/day) and high ( $\geq$  60 min/day).

#### 121 *Assessment of liking for fat-and-salt and fat-and-sweets*

122 Liking for fat-and-salt and fat-and-sweet sensations was assessed using the PrefQuest (42) in  
123 2010. This questionnaire also assesses liking for salty and sweet tastes. Briefly, 83 relevant  
124 items were divided into liking for salt (11 items) and sweet (21 items) tastes, fat-and-salt (31  
125 items) and fat-and-sweet (20 items) sensations. The questionnaire included four types of  
126 items: (i) liking for sweet, fatty-sweet and fatty-salty foods; (ii) preferred level of salt, sweets,  
127 fat-and-salt or fat-and-sweet seasoning; (iii) preferred drinks (sweet/sweetened or  
128 unsweetened) on a restaurant menu; and (iv) dietary behavior in terms of sweet, salty and  
129 fatty foods. Liking scores for fat-and-salt and fat-and-sweet sensations were computed as  
130 detailed previously (42;43) and range from 0 to 10.

#### 131 *Assessment of psychological characteristics*

132 Psychological data were collected in 2010 using the Three-Factor Eating Questionnaire,  
133 which is a self-assessment instrument of eating behavior (TFEQ- R21) (44). It covers 3 eating  
134 behavior domains: the cognitive restraint scale (6 items); the emotional eating scale (6 items);  
135 and the uncontrolled eating scale (9 items). The three scales range from 0 to 100 (45).

136 *Assessment of socio-demographic, economic and lifestyle characteristics*

137 Socio-demographic (age and sex: women and men), economic (education: primary,  
138 secondary, undergraduate or postgraduate; household income per consumption unit) and  
139 lifestyle data (smoking status: never, former or current smoker; history of dieting: never,  
140 former, or current dieter) were collected in 2010.

141 *Statistical analyses*

142 Our analysis focused on participants included in the NutriNet-Santé study between May 2009  
143 and May 2010 living in the French metropolitan area, who had self-reported height and  
144 weight data at baseline and 5 years later, who had completed three 24 h dietary records at  
145 baseline, who were not energy under-reporters and who had no missing data for age, sex,  
146 smoking, physical activity, socioeconomic, sensory or psychological factors.

147 First, we tested the theoretical model (Figure 1), including BMI at baseline, since its influence  
148 on weight change may be strong (46). Results showed that BMI at baseline was the main  
149 predictor of weight change and concealed associations between dietary intake, physical  
150 activity and weight change. We therefore created stratified models by BMI at baseline: a  
151 model for non-overweight persons ( $BMI < 25 \text{ kg/m}^2$ ) and a model for overweight participants,  
152 including obese persons ( $BMI \geq 25 \text{ kg/m}^2$ ), to investigate the contribution of each determinant  
153 to weight change.

154 Comparisons between non-overweight and overweight participants at baseline were  
155 performed using Student's t-test and the chi-square test, as appropriate. A structural equation  
156 modeling (SEM) approach called LISREL (LInear Structural RELations) (47) was the  
157 analytic procedure chosen, as it extends traditional multivariate statistical analysis (48) and  
158 enabled testing the theoretical model (Figure 1). Three fit indexes were used to judge the fit of  
159 each model: the Standardized Root Mean Square Residual (SRMR), the Root Mean Square

160 Error of Approximation (RMSEA) and the Comparative Fit Index (CFI) (49). To indicate a  
161 good fit, cut-offs are SRMR<0.1, RMSEA $\leq$ 0.05 or at least  $\leq$ 0.08 and CFI $\geq$ 0.90. In the final  
162 SEM models, only significant associations remained ( $p < 0.05$ ), reported using arrows in the  
163 figures. Furthermore, standardized parameter estimates were presented to remove scaling  
164 effects and allow comparisons between parameters in models, and can be interpreted as beta  
165 weights in multiple regression. Analyses were also performed separately for men and women,  
166 but results were similar; we therefore created a model pooling both men and women.

167 To reduce the dimensionality of the data, we grouped highly correlated variables into latent  
168 variables as follows: (i) “liking for fat” measured by indicator variables from the PrefQuest  
169 questionnaire, liking for fat-and-salt and liking for fat-and-sweet scores; (ii) “intake of  
170 nutrient-dense foods” assessed by intake of fruits and vegetables, fish, milk and yogurt, whole  
171 grain products and oil; (iii) “intake of energy-dense foods” measured by intake of starchy  
172 foods, meat and processed meat, cheese, salted snacks, appetizers and savory sauces, butter  
173 and other added fats, fatty-sweet products, sweetened soft drinks (including artificially  
174 sweetened drinks) and alcoholic beverages; (iv) “uncontrolled and emotional eating” assessed  
175 by uncontrolled eating and emotional eating scores; and (v) “dietary restraint” measured by  
176 cognitive restraint scores and history of dieting. In addition, independent variables included in  
177 these analyses were age, sex, education, household income, smoking status and physical  
178 activity. The outcome variable was relative 5-year weight change.

179 Standardized residuals and modification indices were examined to determine if conceptually  
180 appropriate changes could be made to improve model fit (e.g. pattern of residual correlations,  
181 removal of a non-significant but plausible path). Structural equation modeling was conducted  
182 with R3.1.2, using the package “lavaan”(50). The robust maximum likelihood estimation  
183 (ML) method was used. The significance level was set at  $p < 0.05$ .

184



185 **Results**

186 Among the 49,818 participants included in the NutriNet-Santé study in May 2010, 31,407 had  
187 available data for height and weight at baseline. We excluded 2,961 participants with fewer  
188 than three 24 h dietary records. Next, 3,578 participants with missing data for sensory liking  
189 and 1,291 individuals with missing data for psychological characteristics at baseline were also  
190 excluded. Furthermore, 3,704 participants with missing data for physical activity and 1,871  
191 subjects with missing data for education or income per consumption unit were excluded.  
192 Finally, 9,988 participants with missing data for weight 5 years later were excluded, which  
193 left 8,014 participants available for analysis (5,730 women and 2,284 men).

194 Compared to overweight subjects (**Table 1**), percentages of women, postgraduates, never-  
195 smokers and never-dieters were higher in non-overweight participants. Mean age and mean  
196 BMI were higher in overweight subjects than in non-overweight individuals, whereas mean  
197 income was lower. Moreover, scores of liking for fat-and-salt, cognitive restraint,  
198 uncontrolled eating and emotional eating were lower in non-overweight subjects. In addition,  
199 since relative weight change between initial weight and weight 5 years later was positive, we  
200 observed a gain in weight. Regarding dietary intake, non-overweight subjects had lower  
201 intakes of energy, meat and processed meat, fish, starchy foods, cheese, milk and yogurt,  
202 salted snacks, appetizers and sauces, sweetened soft drinks and alcoholic beverages, whereas  
203 they had higher intakes of fruits and vegetables, whole grain products and sugar and sugary  
204 products, compared to overweight participants.

205

206 **Table 1** Baseline characteristics of the population, n=8,014, and subsamples according to  
 207 baseline BMI, NutriNet-Santé cohort, France

	<b>Total</b> n=8014 % or mean ± SD	<b>Non-overweight</b> n=5546 % or mean ± SD	<b>Overweight</b> n=2468 % or mean ± SD	p-value <sup>1</sup>
<i>General characteristics</i>				
Age, y	51.8 ± 13.1	50.2 ± 13.2	55.3 ± 12.0	<0.0001
Women, %	71.5	77.1	59.0	<0.0001
BMI, kg/m <sup>2</sup>	23.8 ± 4.2	21.7 ± 1.9	28.7 ± 3.8	<0.0001
Relative weight change, %	1.1 ± 6.5	1.5 ± 0.1	0.4 ± 0.16	<0.0001
Educational level, %				<0.0001
Primary	2.8	1.8	5.0	
Secondary	31.4	28.5	37.8	
Undergraduate	29.7	30.6	27.7	
Postgraduate	36.1	39.1	29.5	
Household income per consumption unit, €/month	2377.8 ± 1218.9	2405.9 ± 1218.0	2314.5 ± 1218.7	0.002
Smoking status, %				<0.0001
Never-smoker	49.7	53.0	42.5	
Former smoker	39.3	35.8	47.1	
Current smoker	11.0	11.2	10.4	
Diet to lose weight, %				<0.0001
Never-dieter	22.0	28.5	7.5	
Former dieter	66.8	64.1	72.9	
Current dieter	11.2	7.4	19.6	
Physical activity, %				<0.0001
Low	22.9	21.4	26.1	
Moderate	42.1	43.5	39.0	
High	35.0	35.1	34.9	
Liking for fat-and-salt (0-10 points)	3.9 ± 1.4	3.8 ± 1.4	4.1 ± 1.3	<0.0001
Liking for fat-and-sweets (0-10 points)	3.6 ± 1.8	3.6 ± 1.7	3.7 ± 1.8	0.1
Cognitive restraint (0-100 points)	43.1 ± 20.3	41.0 ± 20.9	47.7 ± 17.9	<0.0001
Uncontrolled eating (0-100 points)	27.7 ± 17.4	25.2 ± 16.2	33.4 ± 18.6	<0.0001
Emotional eating (0-100 points)	36.3 ± 26.8	32.7 ± 25.3	44.6 ± 28.3	<0.0001
Energy, kcal/d	1990.7 ± 517.3	1957.8 ± 496.9	2064.5 ± 553.4	<0.0001
<i>Food group consumption, g/d</i>				
Fruits and vegetables	547.1 ± 255.0	552.0 ± 254.8	536.1 ± 255.4	0.01
Meat and processed meat	78.0 ± 56.6	69.6 ± 51.5	97.0 ± 62.7	<0.0001
Fish	47.0 ± 47.8	46.0 ± 46.5	49.3 ± 50.5	0.005
Starchy food	193.4 ± 110.9	187.6 ± 109.0	206.3 ± 113.9	<0.0001
Whole grain products	37.8 ± 52.8	40.0 ± 54.2	32.9 ± 19.4	<0.0001
Cheese	39.9 ± 31.6	38.7 ± 30.6	42.6 ± 33.5	<0.0001
Milk and yogurt	176.4 ± 161.3	172.8 ± 158.8	184.3 ± 166.4	0.006
Salted snacks, appetizers and sauce	23.6 ± 22.6	23.1 ± 21.7	24.7 ± 24.4	0.004
Oil	9.8 ± 9.9	9.9 ± 10.1	9.4 ± 9.4	0.05
Butter and other added fats	13.8 ± 13.4	13.6 ± 13.2	14.3 ± 13.9	0.06
Fatty-sweet products	104.2 ± 85.6	104.6 ± 84.5	103.3 ± 88.2	0.53
Sugar and sugary product	26.3 ± 26.7	27.3 ± 27.1	23.9 ± 25.6	<0.0001
Sweetened beverages	71.1 ± 167.3	64.2 ± 154.5	86.5 ± 191.3	<0.0001
Alcoholic beverages	116.6 ± 168.5	103.8 ± 150.1	145.5 ± 200.8	<0.0001

208 <sup>1</sup> P values are for comparison between non-overweight and overweight subjects and were determined  
 209 using Student's t-test or chi-square test as appropriate.

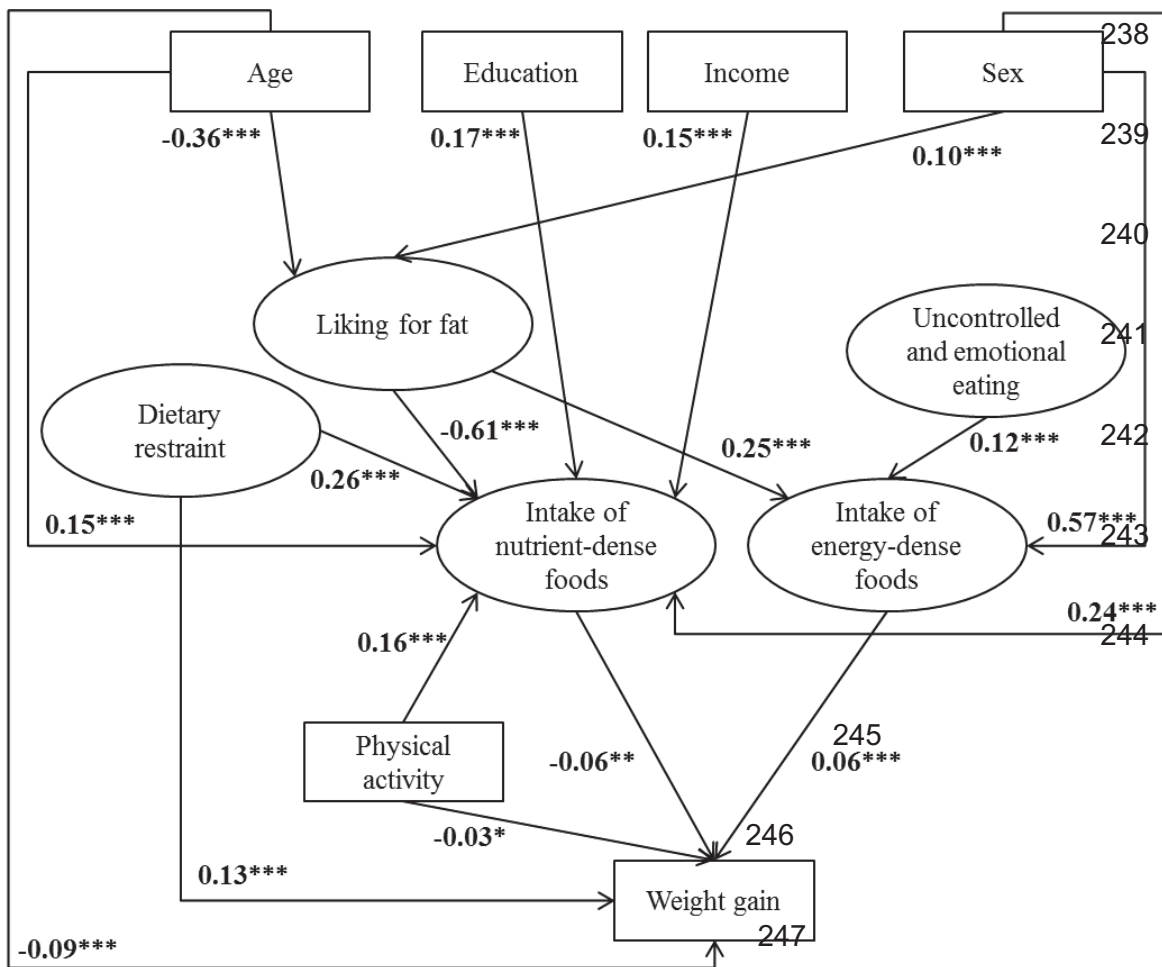
211 *Structural equation modeling*

212 The fit statistics were in the model with non-overweight individuals (CFI = 0.91, RMSEA =  
213 0.049 (0.047-0.051), and SRMR = 0.036) and in the model with overweight subjects (CFI =  
214 0.87, RMSEA = 0.053 (0.050-0.056) and SRMR = 0.046).

215 **Figures 2 and 3** illustrate structural equation models with standardized parameter estimates  
216 for the two samples. In non-overweight (Figure 2) and overweight (Figure 3) participants,  
217 men had a higher liking for fat and higher intake of both nutrient-dense and energy-dense  
218 food than women. In addition, age was inversely related to fat liking, and fat liking was  
219 positively related to intake of energy-dense foods and inversely associated with intake of  
220 nutrient-dense foods, with the highest estimates. High dietary restraint was associated with  
221 high intake of nutrient-dense foods, whereas high uncontrolled (in overweight participants)  
222 and emotional eating was associated with greater intake of energy-dense foods. In contrast,  
223 uncontrolled and emotional eating was not associated with intake of nutrient-dense foods, nor  
224 with weight gain. In both samples, education, income and physical activity levels were  
225 positively associated with intake of nutrient-dense foods, but no such association was found  
226 with intake of energy-dense foods. Regarding a direct influence on weight gain, age was  
227 inversely related to weight gain in both samples, while dietary restraint and intake of energy-  
228 dense foods were both positively associated with weight gain. In contrast, sex, education,  
229 income, smoking, uncontrolled and emotional eating were not significantly associated with  
230 weight gain in either sample.

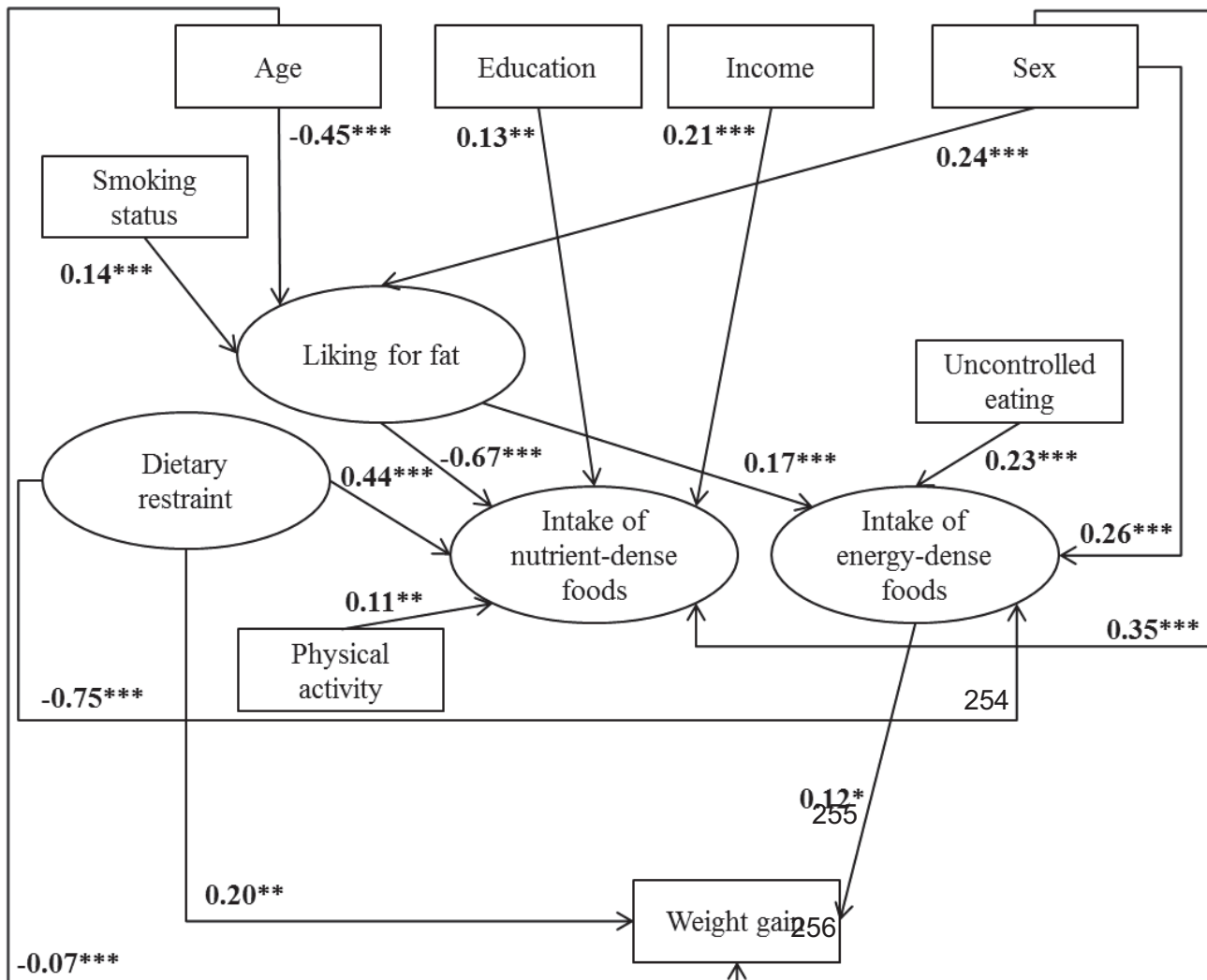
231 Different pathways were also found between models in non-overweight and overweight  
232 individuals. Indeed, in non-overweight participants, intake of nutrient-dense foods and  
233 physical activity were inversely associated with weight gain. In addition, age was positively  
234 associated with intake of nutrient-dense foods, but was not associated with intake of energy-  
235 dense foods in either sample. In overweight participants, smokers and former smokers had

236 higher liking for fat than never-smokers, and dietary restraint was also inversely related to  
 237 intake of energy-dense foods, with a high estimate.



248 **Figure 2:** Determinants related to 5-year weight gain in non-overweight participants  
 249 (n=5,546). Path coefficients in the model can be interpreted as standardized regression  
 250 weights. Latent variables are presented in ovals and observed variables are presented in  
 251 rectangles. Fit indexes for this model were SRMSR=0.036, RMSEA=0.049 (0.047-0.051),  
 252 CFI=0.91. Significance values: \*p<0.05, \*\*p<0.01, \*\*\*p<0.0001.





257 **Figure 3:** Determinants related to 5-year weight gain in overweight and obese participants  
 258 (n=2468). Path coefficients in the model can be interpreted as standardized regression  
 259 weights. Latent variables are presented in ovals and observed variables are presented in  
 260 rectangles. Emotional eating variable did not fit into this model; only the measured variable  
 261 “uncontrolled eating” was considered. Fit indexes for this model were SRMSR=0.046,  
 262 RMSEA=0.053 (0.050-0.056), CFI=0.87. Significance values: \*p<0.05, \*\*p<0.01,  
 263 \*\*\*p<0.0001.

264 **Discussion**

265 To our knowledge, our study using structural equation modeling was the first to  
266 simultaneously investigate the relative influence of direct predictors of weight gain and more  
267 distant determinants that probably influence weight status through dietary intake in large  
268 samples of adults. In non-overweight and overweight participants, dietary restraint was the  
269 main predictor of weight gain, ahead of age and intake of energy-dense food. In addition, in  
270 non-overweight individuals, intake of nutrient-dense food and physical activity were inversely  
271 associated with weight gain. Regarding indirect determinants that may have an effect through  
272 dietary intake, fat liking and sex appear to be the strongest predictors of dietary intake. In  
273 addition, high uncontrolled eating was associated with higher intake of energy-dense foods,  
274 while higher socioeconomic status, strong dietary restraint and high physical activity were  
275 associated with higher intake of nutrient-dense foods.

276 Dietary restraint had a direct influence on weight gain in both samples, and was the most  
277 important predictor, ranking ahead of other common determinants such as dietary intake,  
278 physical activity or age. This original finding may be explained by the co-occurrence of  
279 uninhibited and restrained eating patterns at an individual level (51), that cannot be evaluated  
280 via cross-sectional dietary assessment. In addition, we assume that episodes of cognitive  
281 restraint and uncontrolled eating might cause weight fluctuations and weight gain over the  
282 long term (52). For dietary intake, as expected (9;10), both intake of energy-dense foods and  
283 that of nutrient-dense foods appear to be direct determinants of weight gain, with opposing  
284 effects in non-overweight participants only. In overweight and obese participants, only intake  
285 of energy-dense foods was associated with weight gain. We hypothesize that, as overweight  
286 participants were more often on a diet, they probably changed their dietary intake, notably  
287 that of nutrient-dense foods. However, cross-sectional dietary assessment may miss dietary

288 intake changes and could explain the absence of an association between intake of nutrient-  
289 dense food and weight gain. In non-overweight participants only, physical activity was  
290 inversely associated with weight gain, in agreement with previous studies (9;12;13). This  
291 suggests that physical activity may protect against weight gain. In overweight and obese  
292 individuals, this relationship was not found; descriptive analyses showed no difference in  
293 mean weight gain according to physical activity (data not shown). Finally, age was inversely  
294 associated with weight gain. Indeed, descriptive analyses showed that younger subjects gained  
295 more weight over 5 years than older participants (data not shown). This direct effect of age on  
296 weight gain may be explained by genetic or physiological changes (53).

297 Other individual determinants identified in the theoretical model were not directly associated  
298 with weight gain, indicating their indirect influence through dietary intake. First, fat liking  
299 was the main predictor of dietary intake, ahead of socioeconomic status and uncontrolled and  
300 emotional eating, well-known determinants of dietary intake. This original finding confirms  
301 that sensory liking is the first criterion in food choice (54). Sensory fat liking was strongly  
302 associated with dietary intake, in particular with intake of nutrient-dense foods, in line with  
303 previous works (28-30). We assume that individuals with increased liking for fat may  
304 consume less healthy foods because they find them less tasty; consequently, they may tend to  
305 replace them by their energy-dense variants (28). A socio-economic gradient, through  
306 education and income, was observed for intake of nutrient-dense foods but not for energy-  
307 dense foods. This is consistent with previous studies showing that higher socioeconomic  
308 status is associated with higher intake of nutrients required for a healthy diet (33;55). Lower  
309 intake of healthy foods in lower socio-economic groups may be related to cost barriers,  
310 measured by income, and individual capacity to make use of public health information,  
311 assessed by education level (56-58). Regarding psychological characteristics, dietary restraint  
312 also appears to be a strong determinant of dietary intake, particularly in overweight

313 participants. There was high intake of nutrient-dense food and low intake of energy-dense  
314 food in high restrainers, in concordance with a previous study (31). Nearly all overweight and  
315 obese participants were former or current dieters, and had higher scores for cognitive restraint  
316 than non-overweight participants, thus explaining the stronger influence of dietary restraint on  
317 consumption of energy-dense food in this population. In contrast, high uncontrolled eating  
318 was associated with high intake of energy-dense foods in all participants, as well as emotional  
319 eating in non-overweight participants, in line with previous studies (31;32). Physical activity  
320 was also associated with intake of nutrient-dense foods in both samples, in line with a recent  
321 study showing that active adults have higher intake of essential micronutrients (59). Our  
322 findings also showed that men had higher intake of energy-dense and nutrient-dense foods,  
323 probably due to their greater need for energy compared to women (60). In addition, men had  
324 greater sensory liking for fat than women, in line with a previous study reporting that women  
325 were more likely than men to prefer the taste of nutrient-dense foods (61). Finally, older  
326 individuals had lower fat liking than younger persons, in accordance with a previous work  
327 (43), probably due to physiological changes (62).

328 Interpretation of the present results must take into account characteristics of the cohort.  
329 Subjects were volunteers in the NutriNet-Santé cohort and thus were probably more  
330 concerned about healthy lifestyle and nutrition than the general population. Thus, caution is  
331 needed when interpreting and generalizing the results. In contrast, the prospective design of  
332 the study with a 5-year follow-up is a strength and enabling us to explore the inference of  
333 causality between various direct and distant determinants of weight gain. Individual  
334 characteristics and dietary intake were assessed only at baseline; therefore, the cumulative  
335 effect of these behaviors on weight change could not be assessed. In addition, fit indexes in  
336 the “overweight model” were close to the significance level for two of the three criteria; thus,  
337 results should be interpreted with caution. Another potential limitation was that data were



338 self-reported by questionnaires and may not have been as accurate as measured data. One  
339 study performed on a NutriNet-Santé cohort sample demonstrated the validity of web-based  
340 self-reported anthropometric data by comparison with clinical data (n=2,513), and showed  
341 that the reporting bias was reasonably small (63). Finally, the main strength of the study was  
342 the use of the structural equation modeling approach, which has rarely been used in nutritional  
343 epidemiology (64;65); it enabled modeling observed and latent constructs (unlike that in  
344 traditional regression) and simultaneous testing of several hypotheses along with the relative  
345 contribution of various factors.

346 This original study focused on the relative influence of sensory, psychological,  
347 socioeconomic, physical activity and dietary intake on 5-year weight change in non-  
348 overweight and overweight participants. Our findings confirmed several well-known  
349 relationships found in the literature regarding the influence of age, sex and socio-economic  
350 factors on dietary intake, as well as the influence of dietary intake and physical activity on  
351 weight change. In addition, specific associations were found, such as fat liking as a major  
352 determinant of dietary intake in both populations. Furthermore, dietary restraint was the  
353 strongest predictor of weight gain compared to other determinants, although dietary restraint  
354 appeared to be associated with healthier diet. Further investigation is warranted to understand  
355 this complex relationship.

356

357 **Acknowledgments**

358 We thank the scientists, dieticians, technicians and assistants who helped carry out the  
359 NutriNet-Santé study, and all dedicated and conscientious volunteers. We especially thank  
360 Mohand Aït-Oufella, Paul Flanzzy, Yasmina Chelghoum, Véronique Gourlet, Nathalie Arnault  
361 and Laurent Bourhis. We thank Jerri Bram for English editing of the manuscript.

362

363 The authors have no potential conflict of interest.

364

365 AL, KC, MH, SH and CM designed research. SP, SH and CM conducted research. AD and  
366 PS provided essential materials. AL performed statistical analysis. AL and CM wrote the  
367 paper. AL had primary responsibility for final content. All authors read and approved the final  
368 manuscript.

**References**

1. World Health Organization. Diet, Nutrition and the Prevention of Chronic Diseases. Joint WHO/FAO Expert Consultation. 916. 2003. Geneva, WHO. WHO Technical Report Series n°916.
2. Kopelman PG. Obesity as a medical problem. *Nature* 2000;404:635-43.
3. Jebb SA. Dietary determinants of obesity. *Obes Rev* 2007;8 Suppl 1:93-7.
4. Du H, Feskens E. Dietary determinants of obesity. *Acta Cardiol* 2010;65:377-86.
5. Buckland G, Bach A, Serra-Majem L. Obesity and the Mediterranean diet: a systematic review of observational and intervention studies. *Obes Rev* 2008;9:582-93.
6. Maskarinec G, Takata Y, Pagano I, Carlin L, Goodman MT, Le ML, Nomura AM, Wilkens LR, Kolonel LN. Trends and dietary determinants of overweight and obesity in a multiethnic population. *Obesity (Silver Spring)* 2006;14:717-26.
7. Santos AC, Barros H. Prevalence and determinants of obesity in an urban sample of Portuguese adults. *Public Health* 2003;117:430-7.
8. van Dam RM, Seidell JC. Carbohydrate intake and obesity. *Eur J Clin Nutr* 2007;61 Suppl 1:S75-S99.
9. Mozaffarian D, Hao T, Rimm EB, Willett WC, Hu FB. Changes in diet and lifestyle and long-term weight gain in women and men. *N Engl J Med* 2011;364:2392-404.
10. Fogelholm M, Anderssen S, Gunnarsdottir I, Lahti-Koski M. Dietary macronutrients and food consumption as determinants of long-term weight change in adult populations: a systematic literature review. *Food Nutr Res* 2012;56.
11. Jackson CL, Hu FB. Long-term associations of nut consumption with body weight and obesity. *Am J Clin Nutr* 2014;100 Suppl 1:408S-11S.
12. Guerra F, Stringhini S, Vollenweider P, Waeber G, Marques-Vidal P. Socio-demographic and behavioural determinants of weight gain in the Swiss population. *BMC Public Health* 2015;15:73.

13. Wane S, van Uffelen JG, Brown W. Determinants of weight gain in young women: a review of the literature. *J Womens Health (Larchmt)* 2010;19:1327-40.
14. Akande VO, Hendriks AM, Ruiters RA, Kremers SP. Determinants of dietary behavior and physical activity among Canadian Inuit: a systematic review. *Int J Behav Nutr Phys Act* 2015;12:84.
15. Dulloo AG, Montani JP. Pathways from dieting to weight regain, to obesity and to the metabolic syndrome: an overview. *Obes Rev* 2015;16 Suppl 1:1-6.
16. Lowe MR, Doshi SD, Katterman SN, Feig EH. Dieting and restrained eating as prospective predictors of weight gain. *Front Psychol* 2013;4:577.
17. Tian J, Venn A, Otahal P, Gall S. The association between quitting smoking and weight gain: a systemic review and meta-analysis of prospective cohort studies. *Obes Rev* 2015;16:883-901.
18. Ball K, Crawford D. Socioeconomic status and weight change in adults: a review. *Soc Sci Med* 2005;60:1987-2010.
19. Deglaire A, Mejean C, Castetbon K, Kesse-Guyot E, Hercberg S, Schlich P. Associations between weight status and liking scores for sweet, salt and fat according to the gender in adults (The Nutrinet-Sante study). *Eur J Clin Nutr* 2015;69:40-6.
20. Cox DN, Hendrie GA, Carty D. Sensitivity, hedonics and preferences for basic tastes and fat amongst adults and children of differing weight status: a comprehensive review. *Food Qual Prefer* 2016;48:359-67.
21. Salbe AD, DelParigi A, Pratley RE, Drewnowski A, Tataranni PA. Taste preferences and body weight changes in an obesity-prone population. *Am J Clin Nutr* 2004;79:372-8.
22. de Lauzon-Guillain B, Basdevant A, Romon M, Karlsson J, Borys JM, Charles MA. Is restrained eating a risk factor for weight gain in a general population? *Am J Clin Nutr* 2006;83:132-8.



23. Chaput JP, LeBlanc C, Perusse L, Despres JP, Bouchard C, Tremblay A. Risk factors for adult overweight and obesity in the Quebec Family Study: have we been barking up the wrong tree? *Obesity (Silver Spring)* 2009;17:1964-70.
24. Hays NP, Bathalon GP, McCrory MA, Roubenoff R, Lipman R, Roberts SB. Eating behavior correlates of adult weight gain and obesity in healthy women aged 55-65 y. *Am J Clin Nutr* 2002;75:476-83.
25. Peneau S, Menard E, Mejean C, Bellisle F, Hercberg S. Sex and dieting modify the association between emotional eating and weight status. *Am J Clin Nutr* 2013.
26. Sarrafzadegan N, Talaei M, Sadeghi M, Mohammadifard N, Taheri M, Lotfizadeh M, Esmailzadeh A, Khosravi-Boroujeni H. Determinants of weight change in a longitudinal study of Iranian adults: Isfahan Cohort Study. *Arch Iran Med* 2014;17:539-44.
27. Forbes GB. *Human body composition*. New York: 1987.
28. Mejean C, Deglaire A, Kesse-Guyot E, Hercberg S, Schlich P, Castetbon K. Association between intake of nutrients and food groups and liking for fat (The Nutrinet-Sante Study). *Appetite* 2014;78:147-55.
29. Nagata C, Sugiyama C, Shimizu H. Nutrient intakes in relation to style of breakfast and taste preferences. *J Epidemiol* 1998;9:91-8.
30. Drewnowski A, Hann C. Food preferences and reported frequencies of food consumption as predictors of current diet in young women. *Am J Clin Nutr* 1999;70:28-36.
31. De Lauzon B, Romon M, Deschamps V, Lafay L, Borys JM, Karlsson J, Ducimetiere P, Charles MA. The Three-Factor Eating Questionnaire-R18 is able to distinguish among different eating patterns in a general population. *J Nutr* 2004;134:2372-80.
32. Camilleri GM, Mejean C, Kesse-Guyot E, Andreeva VA, Bellisle F, Hercberg S, Peneau S. The Associations between Emotional Eating and Consumption of Energy-Dense Snack Foods Are Modified by Sex and Depressive Symptomatology. *J Nutr* 2014;144:1264-73.

33. Darmon N, Drewnowski A. Does social class predict diet quality? *Am J Clin Nutr* 2008;87:1107-17.
34. Hercberg S, Castetbon K, Czernichow S, Malon A, Mejean C, Kesse E, Touvier M, Galan P. The Nutrinet-Sante Study: a web-based prospective study on the relationship between nutrition and health and determinants of dietary patterns and nutritional status. *BMC Public Health* 2010;10:242.
35. Touvier M, Kesse-Guyot E, Mejean C, Pollet C, Malon A, Castetbon K, Hercberg S. Comparison between an interactive web-based self-administered 24 h dietary record and an interview by a dietitian for large-scale epidemiological studies. *Br J Nutr* 2011;105:1055-64.
36. World Health Organization. Physical status: the use and interpretation of anthropometry. Report of a WHO Expert Committee. *World Health Organ Tech Rep Ser* 1995;854:1-452.
37. Lassale C, Castetbon K, Laporte F, Camilleri GM, Deschamps V, Vernay M, Faure P, Hercberg S, Galan P, Kesse-Guyot E. Validation of a Web-based, self-administered, non-consecutive-day dietary record tool against urinary biomarkers. *Br J Nutr* 2015;113:953-62.
38. Lassale C, Castetbon K, Laporte F, Deschamps V, Vernay M, Camilleri GM, Faure P, Hercberg S, Galan P, Kesse-Guyot E. Correlations between Fruit, Vegetables, Fish, Vitamins, and Fatty Acids Estimated by Web-Based Nonconsecutive Dietary Records and Respective Biomarkers of Nutritional Status. *J Acad Nutr Diet* 2016;116:427-38.
39. Hercberg S, Chat-Yung S, Chauliac M. The French National Nutrition and Health Program: 2001-2006-2010. *Int J Public Health* 2008;53:68-77.
40. Black AE. Critical evaluation of energy intake using the Goldberg cut-off for energy intake:basal metabolic rate. A practical guide to its calculation, use and limitations. *Int J Obes Relat Metab Disord* 2000;24:1119-30.
41. Craig CL, Marshall AL, Sjostrom M, Bauman AE, Booth ML, Ainsworth BE, Pratt M, Ekelund U, Yngve A, Sallis JF et al. International physical activity questionnaire: 12-country reliability and validity. *Med Sci Sports Exerc* 2003;35:1381-95.

42. Deglaire A, Mejean C, Castetbon K, Kesse-Guyot E, Urbano C, Hercberg S, Schlich P. Development of a questionnaire to assay recalled liking for salt, sweet and fat. *Food Qual Prefer* 2012;23:110-24.
43. Lampure A, Deglaire A, Schlich P, Castetbon K, Peneau S, Hercberg S, Mejean C. Liking for fat is associated with sociodemographic, psychological, lifestyle and health characteristics. *Br J Nutr* 2014;112:1353-63.
44. Stunkard AJ, Messick S. The three-factor eating questionnaire to measure dietary restraint, disinhibition and hunger. *J Psychosom Res* 1985;29:71-83.
45. Tholin S, Rasmussen F, Tynelius P, Karlsson J. Genetic and environmental influences on eating behavior: the Swedish Young Male Twins Study. *Am J Clin Nutr* 2005;81:564-9.
46. Barte JC, Veldwijk J, Teixeira PJ, Sacks FM, Bemelmans WJ. Differences in weight loss across different BMI classes: a meta-analysis of the effects of interventions with diet and exercise. *Int J Behav Med* 2014;21:784-93.
47. Joreskog KG. A general method for analysis of covariance structures. *Biometrika* 1970;57:239-51.
48. Bollen K. *Structural equations with latent variables*. New-York: 1989.
49. Hu LT., Bentler PM. Cutoff criteria for fit indexes in covariance structure analysis: Conventional criteria versus new alternatives. *Struct Equ Modeling* 1999;6:1-55.
50. Rosseel Y. lavaan: An R package for Structural Equation Modeling. *Journal of Statistical Software* 2012;48:1-36.
51. Smith CF, Williamson DA, Bray GA, Ryan DH. Flexible vs. Rigid dieting strategies: relationship with adverse behavioral outcomes. *Appetite* 1999;32:295-305.
52. Lowe MR, Feig EH, Winter SR, Stice E. Short-term variability in body weight predicts long-term weight gain. *Am J Clin Nutr* 2015;102:995-9.

53. Hughes VA, Frontera WR, Roubenoff R, Evans WJ, Singh MA. Longitudinal changes in body composition in older men and women: role of body weight change and physical activity. *Am J Clin Nutr* 2002;76:473-81.
54. Glanz K, Basil M, Maibach E, Goldberg J, Snyder D. Why Americans eat what they do: taste, nutrition, cost, convenience, and weight control concerns as influences on food consumption. *J Am Diet Assoc* 1998;98:1118-26.
55. Si HW, Castetbon K, Cardon P, Eaux C, Nicolaou M, Lien N, Terragni L, Holdsworth M, Stronks K, Hercberg S et al. Socioeconomic Indicators Are Independently Associated with Nutrient Intake in French Adults: A DEDIPAC Study. *Nutrients* 2016;8.
56. Reicks M, Randall JL, Haynes BJ. Factors affecting consumption of fruits and vegetables by low-income families. *J Am Diet Assoc* 1994;94:1309-11.
57. Galobardes B, Morabia A, Bernstein MS. Diet and socioeconomic position: does the use of different indicators matter? *Int J Epidemiol* 2001;30:334-40.
58. Cox DN, Anderson AS, McKellar S, Reynolds J, Lean MEJ, Mela DJ. Vegetables and fruits: barriers and opportunities for greater consumption. *Nutrition & Food Science* 1996;5:44-7.
59. Yan Y, Drenowatz C, Hand GA, Shook RP, Hurley TG, Hebert JR, Blair SN. Is nutrient intake associated with physical activity levels in healthy young adults? *Public Health Nutr* 2016;1-7.
60. Mauvais-Jarvis F. Sex differences in metabolic homeostasis, diabetes, and obesity. *Biol Sex Differ* 2015;6:14.
61. Turrell G. Determinants of gender differences in dietary behavior. *Nutrition Research* 1997;17:1105-20.
62. Drewnowski A, Shultz JM. Impact of aging on eating behaviors, food choices, nutrition, and health status. *J Nutr Health Aging* 2001;5:75-9.



63. Lassale C, Peneau S, Touvier M, Julia C, Galan P, Hercberg S, Kesse-Guyot E. Validity of web-based self-reported weight and height: results of the Nutrinet-Sante study. *J Med Internet Res* 2013;15:e152.
64. Yuan WL, Rigal N, Monnery-Patris S, Chabanet C, Forhan A, Charles MA, de Lauzon-Guillain B. Early determinants of food liking among 5y-old children: a longitudinal study from the EDEN mother-child cohort. *Int J Behav Nutr Phys Act* 2016;13:20.
65. Kesse-Guyot E, Andreeva VA, Lassale C, Hercberg S, Galan P. Clustering of midlife lifestyle behaviors and subsequent cognitive function: a longitudinal study. *Am J Public Health* 2014;104:e170-e177.

## Résultats complémentaires

Les résultats de l'article portant sur la validation d'un cadre conceptuel ont mis en évidence une influence directe de la restriction alimentaire sur la prise de poids, qui ne semble pas être médiée par l'alimentation. De plus, dans le premier article publié, nous avons mis en évidence que les individus restreints étaient moins attirés par le gras. Nous avons donc approfondi l'analyse en explorant le potentiel effet modificateur de la restriction sur la relation entre attirance sensorielle et statut pondéral, c'est à dire l'influence de l'attirance pour le gras sur l'évolution du poids selon les niveaux de restriction cognitive.

### Attirance pour le gras et évolution du poids sur 6 ans selon les niveaux de restriction cognitive

L'hypothèse de travail était que selon les niveaux de restriction cognitive, la relation entre l'attirance pour le gras et l'évolution du poids ne serait pas la même. Par exemple, les sujets fortement restreints et très attirés par le gras auraient une prise de poids plus importante que les sujets peu restreints et autant attirés par le gras. Dans un échantillon de 58 339 participants, 4 niveaux de restriction cognitive ont été définis selon les quartiles de distribution et les données de poids ont été log-transformées afin d'améliorer la distribution. Les p-values des interactions entre la restriction cognitive et l'attirance pour le gras étaient  $p=0,18$  chez les femmes et  $p=0,22$  chez les hommes.

Les résultats sont présentés dans le Tableau 6 pour les femmes et Tableau 7 pour les hommes. Ces résultats mettent en évidence une association positive entre l'attirance pour le gras et la prise de poids chez les hommes et les femmes. Les temps de suivi étaient également associés avec l'évolution du poids ce qui indiquent une augmentation du poids au cours du suivi. Chez les femmes, on observe également dans 3 modèles sur 4, une interaction significative entre l'attirance pour le gras et le temps, indiquant que l'augmentation du poids est encore plus forte au cours du suivi chez les sujets ayant une forte attirance, comparés aux sujets faiblement attirés par la sensation de gras. En revanche, ces résultats ne semblent pas confirmer l'hypothèse selon laquelle la relation entre attirance pour le gras et l'évolution du poids varie selon les niveaux de restriction cognitive. En effet, les estimations de l'association entre l'attirance pour le gras et les variations de poids sont quasi-identiques dans les quatre niveaux de restriction.

**Tableau 6 :** Associations entre l'attirance sensorielle pour le gras et l'évolution du poids (log-transformé) sur un suivi de 6 ans, stratifiées selon le niveau de restriction cognitive (RC) chez 44846 femmes, NutriNet-Santé

	RC1 β (ET)*	P	RC2 β (ET)	P	RC3 β (ET)	P	RC4 β (ET)	P
<b>Attirance pour le gras</b> (réf Q1)		<b>&lt;0,0001</b>		<b>&lt;0,0001</b>		<b>&lt;0,0001</b>		<b>&lt;0,0001</b>
Modérée faible	0,0404 (0,0051)		0,0451 (0,0047)		0,0383 (0,0051)		0,0341 (0,0048)	
Modérée forte	0,0643 (0,0052)		0,0714 (0,0048)		0,0631 (0,0052)		0,0549 (0,0049)	
Forte	0,0889 (0,0052)		0,1012 (0,0049)		0,0839 (0,0054)		0,0808 (0,0051)	
<b>Temps</b>	0,0086 (0,0009)	<b>&lt;0,0001</b>	0,0057 (0,0009)	<b>&lt;0,0001</b>	0,0068 (0,0010)	<b>&lt;0,0001</b>	0,0049 (0,0010)	<b>&lt;0,0001</b>
<b>Attirance pour le gras*temps</b>		<b>0,01</b>		<b>0,79</b>		<b>0,04</b>		<b>0,0009</b>
Modérée faible	0,0005 (0,0005)		8,212,10 <sup>-6</sup> (0,0005)		0,0007 (0,0006)		0,0014 (0,0006)	
Modérée forte	0,0004 (0,0005)		0,0004 (0,0005)		0,0008 (0,0006)		0,0014 (0,0006)	
Forte	0,0016 (0,0005)		0,0004 (0,0006)		0,0017 (0,0006)		0,0024 (0,0006)	

\* Les estimateurs β et les écart-types (ET) ont été estimés à l'aide de modèles linéaires mixtes avec effets aléatoires sur le temps de suivi et l'intercept, ajustés sur l'âge, l'âge\*temps, le niveau d'études, l'activité physique et le statut tabagique

**Tableau 7 :** Associations entre l'attirance sensorielle pour le gras et l'évolution du poids (log-transformé) sur un suivi de 6 ans, stratifiées selon le niveau de restriction cognitive (RC) chez 13493 hommes, NutriNet-Santé

	RC1 β (ET)*	P	RC2 β (ET)	P	RC3 β (ET)	P	RC4 β (ET)	P
<b>Attirance pour le gras</b> (réf Q1)		<b>&lt;0,0001</b>		<b>&lt;0,0001</b>		<b>&lt;0,0001</b>		<b>&lt;0,0001</b>
Modérée faible	0,0116 (0,0079)		0,0178 (0,0077)		0,0266 (0,0082)		0,0245 (0,0069)	
Modérée forte	0,0273 (0,0079)		0,0424 (0,0077)		0,0228 (0,0081)		0,0264 (0,0073)	
Forte	0,0529 (0,0078)		0,0514 (0,0078)		0,0517 (0,0086)		0,0449 (0,0078)	
<b>Temps</b>	0,0093 (0,0012)	<b>&lt;0,0001</b>	0,0079 (0,0012)	<b>&lt;0,0001</b>	0,0089 (0,0015)	<b>&lt;0,0001</b>	0,0103 (0,0014)	<b>&lt;0,0001</b>
<b>Attirance pour le gras*temps</b>		<b>0,84</b>		<b>0,12</b>		<b>0,58</b>		<b>0,89</b>
Modérée faible	-0,00003 (0,00071)		0,0013 (0,0006)		0,0009 (0,0008)		0,0001 (0,0006)	
Modérée forte	0,00006 (0,0007)		-0,00012 (0,0007)		0,0002 (0,0008)		-0,0004 (0,0007)	
Forte	0,0005 (0,0007)		0,00013 (0,0007)		0,0001 (0,0008)		-0,0003 (0,0008)	

\* Les estimateurs β et les écart-types (ET) ont été estimés à l'aide de modèles linéaires mixtes avec effets aléatoires sur le temps de suivi et l'intercept, ajustés sur l'âge, l'âge\*temps, le niveau d'études, l'activité physique et le statut tabagique

Résultats additionnels

Variation des corrélations entre l'attirance sensorielle déclarée et l'attirance sensorielle mesurée pour le gras, le salé et le sucré selon le niveau de désirabilité sociale

L'étude des corrélations entre l'attirance sensorielle déclarée par questionnaire (PrefQuest) et l'attirance sensorielle mesurée par tests (PrefSens) pour la sensation de gras et les goûts salé et sucré a été réalisée à l'aide des outils développés durant le projet EpiPref (Deglaire, 2011) et met en évidence que les attirances déclarée et mesurée sont corrélées de façon satisfaisante pour les goûts sucré ( $r=0,49$ ,  $P<0,001$ ) et salé ( $r=0,44$ ,  $P<0,001$ ) et un peu moins pour la sensation de gras ( $r=0,24$ ,  $P<0,001$ ).

L'hypothèse de ce travail était que les sujets ayant un fort niveau de désirabilité sociale auraient une faible corrélation entre l'attirance mesurée et déclarée alors que les sujets ayant un faible niveau de désirabilité sociale auraient de meilleures corrélations.

**Tableau 8** : Corrélations entre attirance mesurée et attirance déclarée pour le gras, le sucré et le salé stratifiées selon le niveau de désirabilité sociale

Attirance sensorielle	Corrélations outils PrefQuest / PrefSens				
	Total (sans la désirabilité sociale)	Quartile 1 désirabilité sociale	Quartile 2 désirabilité sociale	Quartile 3 désirabilité sociale	Quartile 4 désirabilité sociale
<b>Gras</b>	<b>0,28*</b> <b>p&lt;0,0001</b>	<b>0,45</b> <b>p&lt;0,0001</b>	<b>0,29</b> <b>p=0,046</b>	0,24 p=0,11	0,07 p=0,65
<b>Sucre</b>	<b>0,50</b> <b>p&lt;0,0001</b>	<b>0,56</b> <b>p&lt;0,0001</b>	<b>0,64</b> <b>p&lt;0,0001</b>	<b>0,39</b> <b>p=0,006</b>	<b>0,49</b> <b>p=0,0003</b>
<b>Sel</b>	<b>0,48</b> <b>p&lt;0,0001</b>	<b>0,51</b> <b>p&lt;0,0001</b>	<b>0,56</b> <b>p&lt;0,0001</b>	<b>0,41</b> <b>p=0,004</b>	<b>0,51</b> <b>p=0,0002</b>

\* Les coefficients de corrélation et les p-values ont été estimés avec des analyses de corrélation de Pearson, stratifiées selon les niveaux de désirabilité sociale en 4 classes

Sur une population de 203 individus (Tableau 8), après stratification sur les niveaux de désirabilité sociale, une corrélation significative entre les deux outils pour l'attirance pour le gras a été observée dans les deux premiers quartiles de désirabilité sociale seulement, correspondant aux scores les plus bas. Une même tendance a été observée pour les sous-dimensions gras-salé et gras-sucré avec des corrélations significatives seulement dans le premier quartile de désirabilité sociale (résultats non affichés). En revanche, concernant l'attirance pour le sucré et le salé, les corrélations sont retrouvées significatives dans tous les quartiles de désirabilité sociale. La désirabilité sociale semble ainsi influencer les réponses au questionnaire concernant l'attirance pour le gras, puisque les données collectées avec les



deux outils sont corrélées chez les sujets peu sensibles à la norme sociale. En revanche, ce biais ne semble pas influencer les réponses concernant l'attraction pour le sucré et le salé.

# Discussion générale

---

Les graisses, les sucres et le sodium, nutriments impliqués dans l'apparition des maladies chroniques, participent aux propriétés organoleptiques de nombreux aliments en termes de goût, texture et palatabilité, et contribuent fortement au plaisir associé à leur consommation. Dans ce contexte, de façon complémentaire aux études expérimentales, l'approche épidémiologique des déterminants sensoriels réalisée dans cette thèse a permis de mieux comprendre l'influence de l'attirance sensorielle pour le gras, le salé et le sucré sur les consommations alimentaires et l'état nutritionnel.

## 1 Principaux résultats

Les travaux menés au cours de cette thèse ont confirmé le rôle majeur de l'attirance sur les consommations alimentaires et l'état nutritionnel parmi les déterminants individuels, en particulier pour la sensation de gras. En effet, l'attirance pour le gras influence le risque d'apparition de l'obésité sur cinq ans et cette relation est largement expliquée par une alimentation à haute densité énergétique (*article 3*). En revanche, l'attirance pour le sucré est associée avec une réduction du risque d'obésité, et cela s'explique par la sous-dimension « attirance pour les sucres naturels » associée à une alimentation riche en nutriments. Enfin, aucune association n'a été observée concernant l'attirance pour le salé et le risque d'obésité. Des résultats similaires ont été mis en évidence en lien avec d'autres indicateurs de poids chez les femmes, avec une influence de l'attirance pour le gras sur la prise de poids et les fluctuations pondérales sur quatre ans (*résultats complémentaires*). En revanche, chez les hommes, ces associations n'ont pas été retrouvées. Ces travaux ont également permis de mettre en évidence des profils démographiques, socioéconomiques, psychologiques, de mode de vie et de santé spécifiques associés à l'attirance pour le gras-sucré, le gras-salé, le sucré et le salé (*articles 1 et 2*). Pour approfondir les résultats issus des 3 publications précédentes, la modélisation du cadre conceptuel a permis de mettre en évidence une forte influence de l'attirance pour le gras, à la fois sur la consommation d'aliments à haute densité énergétique et également sur la consommation d'aliments riches en nutriments, parmi d'autres déterminants individuels du comportement alimentaire (*article 4*). Nous avons aussi montré une forte influence de la restriction alimentaire sur la prise de poids, plus importante que l'impact des consommations alimentaires et de l'âge. Un schéma récapitulatif basé sur le schéma établi *a priori* a été construit afin de résumer les principaux résultats de ces travaux de thèse (Figure 13).

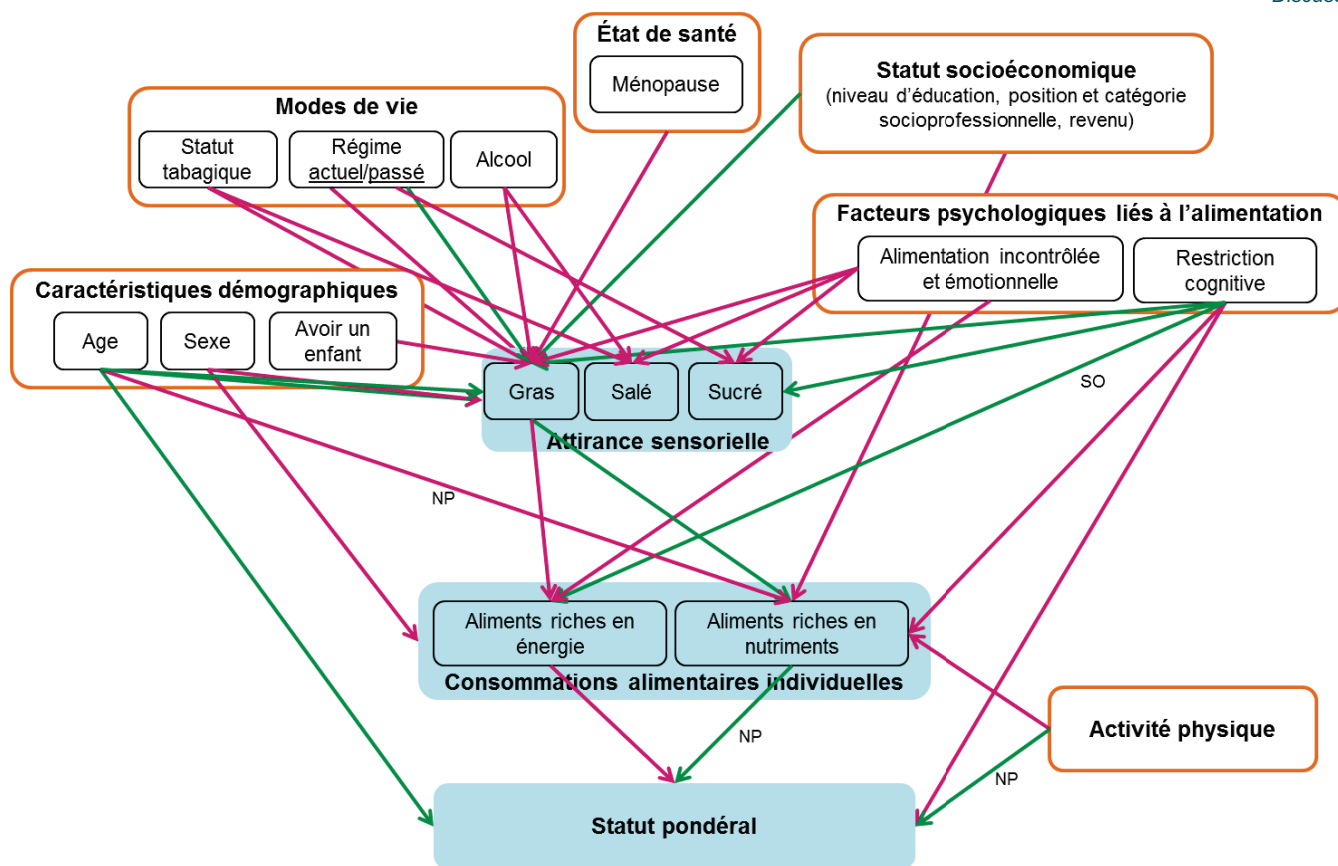


Figure 13 : Cadre conceptuel décrivant les relations entre les déterminants individuels des consommations alimentaires et du statut pondéral (flèche rose : association positive, flèche verte : association inverse, NP : normopondéral, SO : surpoids et obésité)

## 1.1 L'attirance sensorielle : un déterminant majeur des consommations alimentaires et du statut pondéral

Nos résultats montrant qu'une forte attirance pour le gras est un facteur de risque de l'incidence d'obésité chez les hommes et les femmes, ainsi que de variation et de fluctuation pondérales chez les femmes (*article 3 et analyses complémentaires*), sont en accord avec les études transversales (Bartoshuk, 2006; Cox, 2016; Deglaire, 2015; Duffy, 2009; Mela, 1991b; Nakamura, 2001) et une étude longitudinale traitant de l'attirance pour le gras-sucré (Salbe, 2004). L'originalité de nos analyses était d'étudier également l'effet médiateur des consommations alimentaires dans la relation entre l'attirance sensorielle et le statut pondéral. Ainsi, cette relation est largement expliquée par une alimentation plus défavorable à la santé chez les individus très attirés par le gras, comparés à ceux faiblement attirés. Les individus fortement attirés par le gras ont des apports plus élevés en énergie, environ 200 calories de plus que chez ceux qui sont faiblement attirés (Mejean, 2014a). Ils consomment également davantage de matières grasses type graisses saturées et ont de plus faibles apports en vitamines, fibres, fruits, légumes et yaourts, que les individus peu attirés (Drewnowski, 1999a; Drewnowski, 2000b; Mejean, 2014a; Nagata, 1998). Ces résultats se confirment dans l'article 4, où nous avons mis en évidence une forte influence de l'attirance sensorielle pour le gras sur une moindre consommation d'aliments riches en nutriments et une consommation plus élevée d'aliments riches en énergie.

Lorsque l'on distingue l'attirance pour le gras-salé et pour le gras-sucré, on observe des associations plus spécifiques. L'association entre l'attirance pour le gras-salé et le risque d'obésité est significative chez les hommes uniquement, alors que l'association avec l'attirance pour le gras-sucré est significative seulement chez les femmes. Ces particularités en fonction du sexe ont également été mises en évidence chez des sujets américains obèses, déclarant une préférence pour les produits gras-salés chez les hommes et les produits gras-sucrés chez les femmes (Drewnowski, 1992). De même, les consommations alimentaires diffèrent selon le genre : les produits sucrés sont plutôt « féminins » alors que les viandes, les charcuteries et l'alcool sont des produits plus « masculins » (O'Doherty, 1999). Par ailleurs, l'effet de l'attirance pour le gras-salé sur le risque d'obésité est plus important, avec une force d'association plus élevée comparée à celle de l'attirance pour le gras-sucré. Ce résultat peut être expliqué par des niveaux de consommations différents selon l'attirance pour le gras-salé ou le gras-sucré. En effet, les individus ayant une forte attirance pour le gras-salé avaient un apport énergétique plus élevé et consommaient davantage de matières grasses et moins d'aliments riches en nutriments, que les individus très attirés par le gras-sucré (Mejean, 2014a).



Les caractéristiques des individus présentant un phénotype « high-fat » proposé par Blundell and coll. pourraient contribuer à expliquer la relation entre une forte attirance pour le gras et le statut pondéral (Blundell, 1999; Blundell, 2005). En effet, ces individus seraient particulièrement attirés par le gras et les aliments palatables, auraient une faible satiété lors de la consommation de repas riches en lipides et prendraient facilement du poids, présentant souvent une obésité (Blundell, 2005). Chez les individus particulièrement attirés par le gras, il semblerait qu'il y ait un dérèglement entre le système homéostatique et le système hédonique qui contrôlent la sélection et la prise alimentaire de façon synergique (Blundell, 2004; Lowe, 2005; Lutter, 2009), conduisant à une balance énergétique positive et à une prise de poids. Ainsi, à un niveau de faim physiologique acceptable, comme cela devait être le cas de nos participants lors du remplissage du questionnaire, l'attirance sensorielle aurait une influence majeure sur la consommation, alors qu'en cas de grande faim, l'individu va en premier lieu chercher à combler son besoin énergétique, l'attirance passant alors au second plan (Spiegel, 1989). Cela pourrait expliquer les apports énergétiques plus élevés des individus fortement attirés par le gras. Il a également été proposé qu'une très forte attirance pourrait augmenter la faim et donc la consommation, et que la satiété développée au cours du repas n'aurait pas d'influence négative sur la sapidité des aliments (Looy, 1992; Yeomans, 1999) et l'envie de consommer d'autres aliments (Finlayson, 2008).

On peut également supposer que les individus très attirés par le gras auraient des difficultés à résister à la consommation d'aliments palatables, dues à une très forte réponse hédonique provoquée lors de leur consommation (Finlayson, 2007b). En effet, le circuit de récompense serait impliqué dans l'apparition d'une prise de poids et du développement de l'obésité en fonction de la variabilité individuelle à être plus au moins sensible à la récompense (Blundell, 2004; Erlanson-Albertsson, 2005; Finlayson, 2007b; Nasser, 2001; Yeomans, 2004). Ainsi, les sujets particulièrement sensibles à la récompense due au plaisir provoqué lors de la consommation, seraient plus susceptibles de surconsommer et de prendre du poids (Davis, 2004). De plus, il a été suggéré que chez ces individus, le plaisir ressenti peut progressivement diminuer et nécessiter la consommation d'une plus grande quantité d'aliments palatables pour atteindre le même niveau de plaisir (Finlayson, 2007b).

L'attirance pour le sucré est inversement associée au risque de devenir obèse (*article 3*). Ce résultat n'a pas été retrouvé dans la littérature (Bartoshuk, 2006; Grinker, 1978; Matsushita, 2009) probablement expliqué par les différences méthodologiques importantes entre les études (mesures expérimentales ou attirance évaluée par une seule question). Dans nos travaux, ce résultat s'explique par la sous-dimension de l'attirance globale pour le sucré, « attirance pour les sucres naturels » qui est inversement associée au risque d'obésité, alors que les deux autres dimensions « ajout de sucre » et « aliments sucrés » ne sont pas

associées. Les individus très attirés par les sucres naturels ont des consommations alimentaires plus favorables à la santé, avec des apports plus élevés en fruits et produits complets et plus faibles en viandes, charcuteries et sodas, comparés aux individus peu attirés par les sucres naturels. Dans la littérature, un IMC plus élevé semble être associé à une perception plus faible de la saveur sucrée (Bartoshuk, 2006). La diminution de la perception du sucré chez les individus présentant une obésité pourrait favoriser l'attirance pour le gras (Bartoshuk, 2006). En effet, la diminution de sensibilité pour une sensation pourrait exacerber celle les autres, il y aurait donc une interaction dynamique entre les systèmes de perception sensorielle (Bartoshuk, 2006). Cependant d'autres études sont nécessaires pour confirmer ces résultats. En effet, la littérature sur la perception du sucre, l'attirance pour le sucré et la consommation de produits sucrés reste discordante (Low, 2014) ne permettant pas de conclure.

L'attirance pour le salé n'est pas associée avec le risque d'obésité (*article 3*) en accord avec les données de la littérature (Choong, 2012; Cox, 1999; Malcolm, 1980; Pal, 2013). La seule étude discordante avait une mesure de l'attirance non validée (Hashimoto, 2008). Cette attirance étant principalement évaluée par l'ajout de sel, on peut supposer que le fait d'aimer les plats très salés ou non, n'a pas de lien avec le statut pondéral. En effet, le sel est un exhausteur de goût non calorique, donc sans effet sur le poids. Les enjeux sociétaux concernant l'ajout de sel ne sont pas sur le poids, mais portent sur l'hypertension et d'autres maladies chroniques (He, 2007; He, 2014).

Les résultats utilisant d'autres indicateurs de poids tels que la variation et la fluctuation pondérales ne sont pas similaires concernant l'attirance pour le gras et le sucré, et aucune association n'a été trouvée pour le salé. Si on retrouve chez les femmes l'effet d'une forte attirance pour le gras sur une variation positive et des fluctuations pondérales de grande amplitude, ces relations étaient non significatives chez les hommes. De même, aucune relation n'a été observée entre l'attirance pour le sucré et le salé et ces indicateurs de poids. Concernant l'attirance pour le sucré, il y avait tout de même une tendance inverse à la limite de la significativité avec la fluctuation pondérale, en accord avec les résultats sur le risque d'obésité, mais en désaccord avec une étude longitudinale qui a mis en évidence un effet positif de l'attirance pour le sucré sur la prise de poids (Matsushita, 2009).

Le fait que les analyses avec le risque d'obésité mettent en évidence de plus fortes associations peut s'expliquer par la nature de l'événement, qui est le passage à un IMC à 30 kg/m<sup>2</sup>, très dépendant de l'IMC initial de l'individu. Si l'individu en surpoids a un IMC proche de 30 kg/m<sup>2</sup>, il va avoir de fortes chances d'avoir l'évènement d'obésité, alors qu'en termes de variation ou de fluctuation pondérales, l'effet sera moins important. Ainsi, les

autres indicateurs de poids utilisés dans ces travaux ne sont pas soumis à un effet seuil, comparés à l'apparition de l'obésité. Par ailleurs, la moyenne de variation relative de poids était plus élevée chez les femmes ( $1,29\% \pm 6,44\%$ ) comparée aux hommes ( $0,63\% \pm 4,96\%$ ), ce qui peut expliquer l'absence d'association entre l'attirance pour le gras et la variation pondérale. Concernant la fluctuation de poids, chez les hommes on observe des rapports de côtes assez similaires à ceux des femmes, mais les intervalles de confiance étaient plus importants, résultats probablement dus à un manque de puissance ( $n=2186$ ).

Ces différences de résultats peuvent également s'expliquer par les différences d'échantillons. Les individus inclus dans les analyses sur le risque d'obésité étaient nombreux ( $n=24\ 776$ ) et devaient avoir au moins deux données de poids, une à l'inclusion et une autre au cours du suivi sur les cinq ans. Pour les analyses sur la variation de poids, les individus devaient disposer d'une donnée à l'inclusion et d'une donnée quatre ans plus tard. En revanche, pour le calcul de la fluctuation pondérale, les individus devaient avoir cinq données de poids entre l'inclusion et quatre ans après. Ainsi, on peut supposer que les individus qui continuent de participer de manière assidue sont potentiellement plus homogènes en termes de comportements comparés aux individus qui arrêtent de participer plus rapidement à la cohorte, en particulier pour les analyses sur la fluctuation pondérale demandant une certaine assiduité dans le remplissage des questionnaires.

## **1.2 Caractérisation des individus selon les niveaux d'attirance sensorielle et effets relatifs des déterminants individuels de la consommation et du statut pondéral**

La modélisation par équations structurelles a permis de mettre en évidence les effets relatifs de nombreux déterminants majeurs du comportement alimentaire, ainsi que des liens spécifiques en fonction du type d'alimentation considérée (riche en nutriments ou riche en énergie) et du statut pondéral initial (*article 4*). Ces travaux viennent en complément des études sur les caractéristiques individuelles associées à l'attirance sensorielle pour le gras, le salé et le sucré qui ont mis en évidence des profils spécifiques en fonction des niveaux d'attirance (*articles 1 et 2*). Les modèles d'équations structurelles ont permis de mettre en évidence l'important effet médiateur de l'alimentation sur la prise de poids. En complément de la littérature abondante sur les déterminants du statut pondéral tels que l'attirance sensorielle (Matsushita, 2009; Salbe, 2004) ou le statut socioéconomique (Ball, 2005), nous avons mis en évidence les chemins causaux de nombreux déterminants individuels influençant les consommations alimentaires et ayant un impact indirect sur le statut pondéral.

Concernant l'influence des déterminants directs sur la variation pondérale, la restriction alimentaire a une influence majeure sur la prise de poids, plus importante que l'effet des consommations alimentaires et de l'âge (*article 4*). En revanche, les sujets fortement restreints sur leur alimentation ont tendance à être moins attirés par le gras, le salé et le sucré, à consommer peu d'aliments riches en graisses, sucres simples et sel, et davantage d'aliments riches en nutriments (*articles 1, 2 et 4*). La contradiction entre l'effet de la restriction sur les comportements alimentaires et sur le poids soulève des questions. Cette discordance chez les sujets restreints peut potentiellement s'expliquer par des épisodes d'impulsivité alimentaire (Lowe, 2015; Smith, 1999) selon la théorie de conflit des objectifs (Stroebe, 2008), qui ne seraient pas évalués par les enregistrements alimentaires de 24h soit par omission consciente de la part de l'individu, ou du fait que le jour d'enquête il n'y en ait pas eu. De plus, en accord avec nos résultats, il a été montré que chez les sujets restreints l'attirance sensorielle diminue (*liking*), mais l'envie de consommer (*wanting*) augmente, comparés à des sujets non restreints (Hoefling, 2008). Il serait intéressant d'approfondir la question du désir de consommer chez les sujets restreints, qui pourrait apporter de nouvelles pistes de réflexion. Nous avons également mis en évidence chez les sujets ne présentant pas de surpoids, que la consommation d'aliments riches en nutriments et l'activité physique sont associées à une moindre prise de poids (Mozaffarian, 2011a), leur permettant probablement de maintenir leur IMC dans la norme. Ces relations n'ont pas été retrouvées chez les sujets en surpoids et obèses.

Concernant l'étude des déterminants de la consommation, nos travaux montrent que l'attirance sensorielle pour le gras a une influence majeure sur les consommations à la fois d'aliments riches en nutriments et dans une moindre mesure, d'aliments riches en énergie, plus importante que celles de la restriction alimentaire, de la position socioéconomique, de l'activité physique, de l'âge et du sexe (*article 4*). Il s'agit d'un résultat majeur confirmant les hypothèses de précédentes études sur l'influence principale de l'attirance sensorielle, comparée aux autres déterminants du comportement alimentaire (Eertmans, 2001; Glanz, 1998; Wardle, 1993).

Au sujet des facteurs démographiques, les travaux ont été menés chez les hommes et les femmes séparément car l'interaction avec le sexe était généralement significative, exceptée pour les modèles d'équations structurelles où les analyses stratifiées ne donnaient pas de résultats différents. L'âge est associé à une plus forte attirance pour le salé et une plus faible attirance pour le sucré (*article 1*), le gras-salé et le gras-sucré (*article 2 et 4*). On peut supposer qu'un effet générationnel explique une plus forte attirance pour les produits gras et sucrés chez les plus jeunes, due à l'évolution de l'offre alimentaire plus dense énergétiquement (HCSP, 2000; INSEE, 2015) et également des besoins énergétiques moins



importants chez les individus plus âgés. Cela est confirmé en termes de consommations alimentaires, les individus plus âgés consomment moins de produits gras (Mejean, 2011) et davantage de produits riches en nutriments (*article 4*). La relation entre l'âge et l'attirance pour le salé a déjà été mise en évidence dans la littérature (Pangborn, 1982; Zallen, 1990) suggérant des habitudes alimentaires plus salées chez les sujets plus âgés plutôt qu'un changement physiologique tel que la diminution de la perception du sel. L'hypothèse physiologique paraît d'ailleurs peu probable dans nos échantillons, le dernier quartile d'âge étant en moyenne à 56 ans chez les femmes et 63 ans chez les hommes (*article 1*), âges auxquels la diminution de la sensibilité et de la perception des aliments ainsi que la perte d'odorat n'a probablement pas encore eu lieu ou a peu d'effet sur l'attirance et les consommations (Mojet, 2005). En lien avec l'âge, on observe une plus forte attirance pour le gras-salé et le gras-sucré chez les femmes ménopausées, comparées aux femmes non-ménopausées, qui peut être expliqué par des changements hormonaux. Aucune étude ne s'est intéressée à l'impact de la ménopause sur l'attirance sensorielle, mais il a été montré que les changements hormonaux durant le cycle menstruel impactent les préférences alimentaires (Frye, 1994; Verma, 2005).

Concernant les caractéristiques psychologiques liées à l'alimentation, autres que la restriction cognitive évoquée précédemment, les individus présentant une forte alimentation incontrôlée ont tendance à être plus attirés par le gras, le salé et le sucré et consomment davantage d'aliments riches en énergie (*articles 1, 2 et 4*). Nous avons également montré que les femmes ayant des scores élevés d'émotivité alimentaire ont plus de chances d'être très attirées par le gras-sucré et le sucré, et aucune association n'a été trouvée chez les hommes (*articles 1 et 2*). Nos résultats sont concordants avec une étude menée dans la même cohorte, s'intéressant à la consommation en lien avec l'émotivité alimentaire (Camilleri, 2014). Les femmes consommeraient davantage d'aliments à haute densité énergétique, notamment des produits riches en sucres simples, sous le coup d'émotions négatives (Camilleri, 2014) et se tourneraient vers des aliments « réconforts » du type produits sucrés (Wansink, 2003) ce qui pourrait influencer à terme l'attirance pour les produits sucrés et gras-sucrés.

Les individus appartenant aux classes les moins socioéconomiquement favorisées en termes d'éducation, de revenus ou de profession, avaient une plus forte attirance pour le gras (*article 1*) et consommaient moins d'aliments riches en nutriments, comparés aux individus appartenant aux classes plus favorisées (*article 4*). Ce dernier résultat s'explique en premier lieu par une barrière de coût, ces aliments étant relativement chers (Darmon, 2008). Bien que l'on n'ait pas mis en évidence d'association entre la position socioéconomique et la consommation d'aliments denses dans cette étude, il a déjà été

observé que les individus appartenant à des classes sociales moins favorisées seraient exposés à une alimentation de moins bonne qualité nutritionnelle (Darmon, 2008; Mejean, 2016). Les aliments les moins chers étant les plus denses énergétiquement (Drewnowski, 2005), ces individus seraient exposés à ces produits lors de leurs achats alimentaires, qui définissent leur consommation et pourraient influencer leur attirance sensorielle.

Les facteurs de mode de vie tels que le statut tabagique, la consommation d'alcool et la pratique de régimes amincissants sont très associés avec l'attirance sensorielle pour le gras, le salé et le sucré (*articles 1 et 2*). Les fumeurs et les consommateurs d'alcool ont tendance à être très attirés par le gras-salé et le salé, en lien avec la saveur salée. La perception de cette dernière serait altérée suite à une modification physiologique de la perception du goût par l'effet de la nicotine (Simons, 2006) et de la consommation d'alcool (Caton, 2004), mais ces hypothèses restent à confirmer. Une telle modification de la sensibilité pourrait entraîner une augmentation de la consommation de produits salés qui sont souvent également gras, afin de parvenir à une perception équivalente, et ainsi augmenter le niveau d'attirance. Une hypothèse culturelle peut également être proposée puisque que les fumeurs et les consommateurs d'alcool ont des apports plus élevés en aliments gras-salés et plus faibles en produits gras-sucrés que les non fumeurs et les non consommateurs d'alcool (Mejean, 2011). En France, la consommation de produits gras-salés est très corrélée aux événements sociaux tels que les apéritifs, avec la consommation d'alcool et l'usage du tabac. Un résultat plus surprenant a été mis en évidence chez les femmes fumeuses qui ont tendance à être moins attirées par le sucré (*article 2*). Dans le cadre d'expérimentations, il a déjà été montré que les fumeurs auraient une attirance plus faible attirance pour le sucré que les non-fumeurs (Grunberg, 1982; Perrin, 1961) et un seuil de détection du sucré plus élevé (Pepino, 2007), ce qui pourrait conduire à de plus faibles consommations.

Concernant les régimes amincissants, les femmes suivant actuellement un régime sont plus attirées par le gras-sucré et le gras-salé, que celles qui ne font pas de régimes, résultat probablement dû à une frustration liée à une forte restriction récente (King, 1987). En revanche, les individus ayant fait des régimes dans le passé ont tendance à être moins attirés par le sucré, résultat qui concorde avec la littérature (Kleifield, 1991) et potentiellement expliqué par une habitude prise dans l'objectif de réduire les produits riches en sucres à haute densité énergétique, modifiant ainsi l'attirance pour ce goût. A l'inverse, la tendance chez les femmes ayant fait des régimes dans le passé à être plus attirées par le salé peut s'expliquer par une diminution des apports en produits hautement énergétiques (Blair, 1989) qui a pu être compensée par l'ajout de sel, un vecteur de goût sans apport en calories, et ainsi accroître l'attirance pour le salé.

Excepté le statut tabagique et la consommation d'alcool qui pourraient modifier de façon physiologique notre attirance pour le salé et le gras-salé, les différentes caractéristiques individuelles associées à l'attirance sensorielle influencent à la fois nos consommations alimentaires et notre attirance sensorielle selon l'environnement alimentaire dans lequel nous évoluons. Nous pouvons ainsi supposer que selon l'âge, le sexe, la position socioéconomique et d'autres caractéristiques individuelles décrites précédemment, l'individu est exposé à un environnement alimentaire spécifique qui détermine ses consommations alimentaires et influence son attirance sensorielle et qui, à son tour, a un effet sur son comportement.

## **2 Considérations méthodologiques**

### **2.1 Validité des données**

#### **2.1.1 Données d'attirance sensorielle**

Le questionnaire d'attirance sensorielle (PrefQuest) est le premier questionnaire permettant d'évaluer l'attirance pour le gras, le sale et le sucré simultanément, mesure subjective faisant appel au ressenti des individus (Deglaire, 2012). Les questionnaires utilisés jusqu'à présent n'ont jamais quantifié l'attirance pour ces trois sensations à la fois (sucré, salé et gras) alors qu'ils sont souvent associés dans les aliments, notamment ceux prêts à consommer. L'originalité de ce questionnaire est d'emprunter au domaine sensoriel des concepts et méthodes de mesure de préférences et d'attirance afin de les appliquer à l'épidémiologie. De plus, le croisement entre l'approche épidémiologique évaluant l'attirance déclarée et les tests sensoriels permet de définir leur champ propre d'application et de validité.

L'attirance pour le salé est représentée par un facteur unidimensionnel faisant majoritairement référence au niveau d'assaisonnement préféré en sel, associé à divers aliments. L'attirance pour des aliments salés était évaluée dans la version préliminaire du questionnaire, mais ces items n'ont pas été conservés lors de la validation (Deglaire, 2012). De plus, les produits salés contenant peu de matières grasses tels que la sauce soja, sont rares et peu consommés dans le répertoire alimentaire français. Concernant l'attirance pour le sucré, elle se compose de 3 sous-facteurs décrivant l'attirance pour des aliments sucrés, le niveau d'ajout de sucre préféré et les sucres naturels. Contrairement aux goûts sucrés et salés, le gras est une sensation complexe à évaluer, du fait de ses propriétés de texture et de viscosité, bien que le goût du gras ait récemment été proposé (Besnard, 2016; Mattes, 2011). Il paraît donc plus complexe d'appréhender l'attirance pour le gras qui est très

dépendante des matrices alimentaires et de la texture, que l'attirance pour les goûts salé et sucré. Ainsi, les matières grasses sont rarement consommées en tant que telles excepté le beurre, et sont généralement associées à une matrice sucrée ou salée, composant les sous-dimensions « attirance pour le gras-salé » et « attirance pour le gras-sucré », composé chacune des sous-facteurs « gras-salé extrinsèque » et « gras-salé intrinsèque » ; « ajout de gras-sucré » et « aliments gras-sucrés » respectivement. Les sous-dimensions « attirance pour le gras-salé » et « attirance pour le gras-sucré » étaient modérément corrélées, soulignant leur distinction au sein de la sensation de gras. A noter qu'il n'y avait pas d'items sur l'ajout d'huile considérant que ce n'est pas une habitude dans le régime français (Deglaire, 2012). Ce choix peut être cependant discutable, en particulier dans le régime alimentaire méditerranéen riche en huile d'olive.

Afin d'évaluer la validité externe des données d'attirance sensorielle évaluée par questionnaire, les données ont été comparées à des données obtenues lors de tests sensoriels menés en laboratoire (n=557) (Urbano, 2016), outil également développé au cours du projet EpiPref. Les corrélations entre les deux outils étaient satisfaisantes pour le sucré ( $r=0,49$   $p<0,0001$ ) et le salé ( $r=0,44$   $p<0,0001$ ) et plus faible pour le gras ( $r=0,24$   $p<0,0001$ ) (Deglaire, 2011). La discordance plus marquée pour l'attirance pour le gras peut s'expliquer par la complexité de cette sensation qui regroupe des textures et des saveurs potentiellement différentes selon l'origine animale ou végétale des matières grasses ou la matrice alimentaire proposée. Ainsi, ce travail met en évidence des bases communes entre les deux outils, mais souligne également le fait que ces deux outils mesurent deux types « d'attirance ». Dans le cas du questionnaire, l'attirance mesurée fait appel au souvenir et serait moins dépendante de la matrice alimentaire, alors que dans les tests sensoriels, la matrice alimentaire joue un rôle plus important mais la mesure de l'attirance est plus « directe » sans les interférences des souvenirs associés ou d'autres caractéristiques physiologiques et psychologiques qui peuvent intervenir (Drewnowski, 2000b; Rappoport, 1993). Dans les analyses supplémentaires menées au cours de cette thèse, nous avons tenté d'expliquer les discordances de corrélations, en particulier celle concernant le gras. Ainsi, nous avons mis en évidence que la désirabilité sociale impacte l'attirance déclarée pour le gras, comparée à l'attirance mesurée, avec des corrélations significatives entre les deux outils seulement chez les sujets ayant un faible niveau de désirabilité sociale. La déclaration de l'attirance pour le gras semble donc être biaisée chez les individus ayant un fort degré de désirabilité sociale, résultat concordant avec ceux sur la déclaration des consommations alimentaires (Hebert, 2001).

Dans les travaux réalisés au cours de cette thèse, les scores d'attirance ont été considérés en catégories selon les quartiles de distribution sexe-spécifique des scores. Nous avons



choisi de travailler sur des quartiles car il n'existe pas de seuil clinique défini dans la littérature permettant de parler d'une forte attirance ou d'une faible attirance. De plus, nous n'avons pas considéré le score d'attirance comme variable continue dans nos analyses car l'augmentation d'un point d'attirance pour un score allant de 0 à 10 n'a pas de réelle signification ou d'implication clinique. Nous nous sommes intéressés aux sujets les plus « à risque », et avons donc comparé les groupes de sujets avec des scores « extrêmes » : les plus attirés appartenant au quatrième quartile, aux sujets les plus faiblement attirés appartenant au premier quartile.

### 2.1.2 Données anthropométriques

Les données de poids et de tailles utilisées dans ce travail de thèse pour estimer le statut pondéral des individus ont été obtenues par le biais d'un questionnaire auto-administré sur Internet, à l'inclusion du participant puis chaque année au cours du suivi. Les données anthropométriques auto-déclarées sont toutefois sujettes à un biais de déclaration, ayant fait l'objet d'une abondante littérature (Connor Gorber, 2007), pouvant impacter la validité des données.

Les données recueillies par le biais de ce questionnaire se sont révélées concordantes avec celles issues des questionnaires papiers dans une étude pilote (Touvier, 2010). Ces résultats ont été ensuite confirmés dans une étude comparant les données de poids et de taille déclarées par internet à des données déclarées à un technicien en face à face et à des données mesurées dans un sous-échantillon de la population de l'étude NutriNet-Santé (n=2513) démontrant leur validité (Lassale, 2013). Cette étude indique que les classes d'IMC issues des questionnaires auto-administrés sont correctes dans 93% des cas. Les erreurs de classification étaient principalement liées à une sous-estimation du poids et une surestimation de la taille, conduisant à une sous-estimation de l'IMC (p-value<0,05) chez les hommes ( $-0,32 \pm 0,66 \text{ kg/m}^2$ ) et chez les femmes ( $-0,34 \pm 1,67 \text{ kg/m}^2$ ). Ce biais inhérent aux données déclarées (Connor Gorber, 2007) était de même ampleur via le questionnaire en ligne et en face à face. De plus, en accord avec les tendances observées dans la littérature (Connor Gorber, 2007), ce biais augmentait avec la classe d'IMC :  $-0,16 \text{ kg/m}^2$  chez les normopondéraux,  $-0,36 \text{ kg/m}^2$  chez les individus en surpoids et  $-0,63 \text{ kg/m}^2$  chez les individus obèses. Néanmoins, les erreurs étaient moins importantes que celles rapportées dans les études précédentes (Connor Gorber, 2007), suggérant que les données auto-déclarées via Internet permettraient de limiter les biais notamment ceux liés à l'aspect déclaratif du questionnaire tel que le biais de désirabilité sociale (Joinson, 1999; King, 2000), comparé à l'entretien téléphonique ou en face à face. Une explication possible serait le plus grand sentiment d'anonymat ressenti derrière l'écran (Joinson, 1999). Il faut également noter

que l'étude de validation des données anthropométriques a été conduite sur un sous-échantillon ayant participé à la consultation clinico-biologique optionnelle, qui différait en partie d'un point de vue socioéconomique de la cohorte totale (Lassale, 2013). Il paraît nécessaire de mentionner une certaine prudence dans l'extrapolation de ces résultats.

Malgré la validité des données recueillies, le biais de déclaration a pu conduire à des erreurs de classification dans les catégories d'IMC et donc atténuer les associations observées (Rothman, 2008). Concernant les analyses menées en lien avec le risque d'obésité, nous avons cependant conduit des analyses de sensibilité en modifiant l'évènement et en examinant le risque de surpoids. Ces analyses ont montré que pour le résultat de l'attirance pour le gras, l'association restait statistiquement significative.

### **2.1.3 Données alimentaires**

Les consommations alimentaires ont été estimées via des enregistrements de 24 heures. Initialement, les études épidémiologiques évaluaient les apports alimentaires en se basant sur les questionnaires de fréquence de consommation (Willett, 2012). Bien qu'ils classent généralement bien les sujets selon leurs consommations (Cade, 2004), ces questionnaires nécessitent un effort de mémoire important et estiment de façon moins précise les apports usuels qu'un nombre élevé d'enregistrements ou rappels de 24 heures répartis sur les jours de la semaine et les saisons (Schatzkin, 2003). Etant donné la variabilité intra-individuelle des apports, un seul rappel ou enregistrement de 24h ne peut suffire à représenter les apports individuels usuels. Un nombre minimum de 3 à 10 jours d'enregistrements a été suggéré comme nécessaire pour estimer les apports énergétiques et en macronutriments usuels (Willett, 2012). Une autre étude recommande une répétition de 4 à 6 enquêtes alimentaires pour une estimation précise des apports nutritionnels usuels (Carroll, 2012). Cependant, la motivation étant susceptible de décroître avec le nombre de jours d'enquête (Gersovitz, 1978), les participants ayant rempli un grand nombre d'enquêtes alimentaires seront potentiellement les plus intéressés par la nutrition. L'estimation des consommations alimentaires à partir d'un grand nombre d'enquêtes peut donc entraîner un biais de sélection important. Pour cette raison, nous avons choisi pour ce travail de thèse de nous baser sur un minimum de trois enregistrements de 24h remplis depuis l'inclusion des participants, excepté pour l'article 3 en lien avec le risque d'obésité, les individus qui avaient deux enregistrements de 24h, c'est-à-dire moins de 5% de l'échantillon d'analyse, n'ont pas été supprimés.

Par ailleurs, l'estimation des consommations alimentaires est soumise à de potentielles erreurs de mesure, et en particulier de sous-déclaration (Maurer, 2006). Dans ce travail de thèse, la sous-déclaration énergétique a été identifiée par la méthode de Black (Black, 2000)

qui consiste à comparer les apports énergétiques déclarés au métabolisme de base, calculé sur la base des données de sexe, d'âge, de poids et de taille. Les sous-déclarants étaient systématiquement exclus des analyses. Il faut néanmoins noter que la sous-déclaration étant communément plus importante chez les personnes en surpoids ou obèses (Moshfegh, 2008), l'exclusion des sous-déclarants est donc différentielle. En ce qui concerne la sur-déclaration, des seuils définis par prise alimentaire pour chaque aliment et par jour pour chaque groupe d'aliments ont permis de corriger et/ou de supprimer certaines enquêtes.

Une autre source d'erreur lors du recueil des données alimentaires réside dans l'estimation des quantités consommées. Dans ce travail de thèse, l'utilisation de photographies validées pour estimer les tailles de portions (Le Moullec, 1996) a pu permettre de limiter ce biais. Toutefois, malgré cet outil, l'identification des tailles de portion fait appel aux facultés de perception (prise de conscience de la réalité), de conceptualisation (construction mentale d'une quantité d'aliments non présente) et de mémorisation qui peuvent influencer l'estimation des quantités (Rutishauser, 2005).

Une des spécificités de l'étude NutriNet-Santé est que les enregistrements de 24h sont auto-administrés sur le site Internet de l'étude. La comparaison de ces données avec celles recueillies lors d'un entretien avec une diététicienne a montré une bonne concordance (Touvier, 2011). Une étude de validation menée sur un sous-échantillon (n=199) a comparé les apports en protéines, potassium et sodium estimés par l'outil de recueil de l'étude NutriNet-Santé à ceux mesurés dans les urines de 24h, montrant une bonne validité des données auto-déclarées en ligne (Lassale, 2015). De la même manière, les apports en poisson, fruits, légumes et certains micronutriments estimés étaient relativement bien corrélés à des biomarqueurs mesurés dans le sang :  $\beta$ -carotène, vitamine C et acides gras polyinsaturés  $\omega$ 3, confirmant la validité des données alimentaires recueillies dans le cadre de l'étude NutriNet-Santé (Lassale, 2016).

## 2.2 Représentativité des échantillons et généralisation des résultats

L'interprétation et la généralisation des résultats doivent être réalisées avec prudence, du fait de l'inclusion de participants volontaires dans l'étude de cohorte NutriNet-Santé. Un biais de sélection est donc à prendre en compte et peut altérer la validité externe des résultats (Delgado-Rodriguez, 2004). Les participants sont susceptibles de présenter des caractéristiques spécifiques par rapport aux personnes qui ne se seraient pas portées volontaires, et donc par rapport à la population générale (Galea, 2007). Les proportions de femmes, d'individus plus éduqués et d'individus en couple dans la cohorte NutriNet-Santé

sont plus importantes que celles des chiffres nationaux français (femmes : 78,0% vs. 52,4% p-value<0,0001 ; éducation universitaire : 61,5% vs. 24,9%, p-value<0,0001 ; en couple ou marié : 70,8% vs. 62% p-value<0,0001, respectivement) (Andreeva, 2015). Les différences sont également marquées pour la catégorie socioprofessionnelle : l'étude NutriNet-Santé inclut davantage de cadres et de professions intellectuelles supérieures (22,1% vs. 9,1%) et moins d'agriculteurs exploitants (1,8% vs. 14,9%) que la population française. Néanmoins, la représentation géographique est très similaire à celle de la population française. De plus, la majeure partie des individus inclus dans la cohorte reportait correctement leurs informations sociodémographiques comparées à celles issues de la Sécurité Sociale (94%) (Andreeva, 2014). Concernant l'alimentation, les sujets inclus dans la cohorte ont des apports plus élevés en fruits et légumes comparés à un échantillon représentatif de la population, mais des apports similaires en produits laitiers, fruits de mers et œufs (Mejean, 2016; USEN, 2007).

L'utilisation d'Internet participe également au biais de sélection puisque seules les personnes qui y ont accès peuvent participer. Les personnes appartenant aux catégories socioéconomiques moins favorisées sont les plus susceptibles d'être dans ce cas. Cependant, d'après l'enquête sur les technologies de l'information et de la communication réalisée par l'INSEE en 2010, un peu plus de 64% des ménages déclarent avoir utilisé Internet au cours des trois derniers mois (Gombaut, 2011). De plus, cette même étude montre que 74% des ouvriers, 79% des chômeurs et 55% des personnes ayant un niveau d'éducation inférieur au baccalauréat déclarent avoir utilisé Internet au cours des trois derniers mois. Même si les personnes ayant un niveau d'éducation élevé et appartenant à des catégories socioprofessionnelles plutôt favorisées sont surreprésentées, l'étude NutriNet-Santé, du fait de son utilisation d'Internet, permet l'inclusion d'une vaste population hétérogène, dont des individus appartenant à des catégories socioéconomiques moins favorisées plus difficilement atteignables avec des méthodes classiques d'épidémiologie. En 2013, 19,7% des participants de la cohorte vivaient dans des foyers où le revenu par unité de consommation ne dépasse pas 1200€ et 7,8% des participants étaient sans emploi (Kesse-Guyot, 2013). De plus, dans une étude visant à identifier les motivations des participants conduite sur un sous-échantillon de la cohorte (n=6352), 46,5% des participants ont déclaré qu'ils ne se seraient pas inscrits si l'étude ne se déroulait pas sur Internet (Mejean, 2014b). Enfin, la conduite de l'étude par Internet réduirait également le biais de désirabilité sociale (Joinson, 1999). Un point majeur dans les analyses d'associations est un contrôle des facteurs de confusion potentiels et une variabilité suffisante des paramètres de santé, des comportements et des facteurs d'ajustement. En effet, la non-participation semble n'influencer que peu les résultats étiologiques (Nohr, 2006). Dans notre étude, les disparités



sociales sont prises en compte au niveau de l'analyse des données par l'ajustement, plutôt que lors de la sélection des participants. La diversité et la taille des échantillons nous ont permis de conduire des analyses stratifiées avec des effectifs suffisants dans des sous-groupes de population spécifiques.

Les participants de l'étude NutriNet-Santé sont également plus susceptibles d'être particulièrement intéressés par la nutrition et concernés par leur état de santé, notamment par rapport aux objectifs affichés de l'étude. Dans l'étude sur les motivations des participants, une proportion très importante des inclus sollicités (61,4%) a déclaré vouloir participer à cette étude pour aider à faire avancer la recherche de santé publique sur la prévention des maladies chroniques (Mejean, 2014b), ce qui atteste de leur fort intérêt pour ces problématiques. Ainsi, les participants à ce type d'études auraient moins tendance à s'engager dans des comportements à risque et réciproquement plus de chances de présenter un meilleur état de santé global, réduisant la variabilité observée. Cependant, une conscience accrue des risques et de meilleures connaissances nutritionnelles ne sont pas systématiquement traduites en comportements. En effet, les relations entre connaissances nutritionnelles et apports alimentaires ne sont pas toujours mises en évidence et restent faibles le cas échéant (Spronk, 2014). Finalement, le risque de ces divers biais de sélection est majoritairement dans le sens d'une sous-estimation des associations.

## **2.3 Schémas d'études et puissance statistique**

L'étude empirique des déterminants sensoriels, et en particulier de l'attirance sensorielle pour le gras, le salé et le sucré, n'a été que très rarement conduite en population générale présentant des caractéristiques individuelles diversifiées, permettant ainsi de compléter les résultats des études expérimentales. Comme toute étude épidémiologique, il convient de discuter du schéma d'étude et des conclusions possibles. Les études observationnelles présentées dans ce travail de thèse sont pour certaines transversales, ne permettant pas d'inférence causale, et pour d'autres longitudinales, permettant de suggérer des relations de causalité.

Dans les études au design transversal sur les caractéristiques individuelles associées à l'attirance sensorielle, on ne peut pas exclure une causalité inverse, c'est-à-dire l'existence d'une relation inverse de celle postulée et testée. Dans l'étude transversale des consommations selon l'attirance des individus, réalisée en amont de ces travaux de thèse, Mejean et coll. ont montré que les individus très attirés par le gras ont notamment des apports plus élevés en énergie et en matières grasses (Mejean, 2014a). Si l'interprétation faite de ces résultats était l'influence de l'attirance sur les consommations, il est également

probable que les individus ayant de tels apports soient plus attirés par le gras du fait de leur plus grande exposition au gras dans leurs habitudes alimentaires. Ainsi, ce type de schéma transversal ne permet pas d'affirmer si l'attrance pour le gras est un facteur prédictif ou une conséquence des habitudes alimentaires, suggérant une association bidirectionnelle. En revanche, dans les deux travaux prospectifs, les influences de l'attrance, des caractéristiques individuelles et de l'alimentation sur le risque d'obésité et la variation pondérale ont pu être évaluées. Même si de telles études nécessitent d'être reconduites sur d'autres populations afin de confirmer nos résultats, nous pouvons interpréter des liens causaux entre les déterminants individuels et le statut pondéral.

La taille des échantillons permet des estimations précises des associations. Cependant, elle peut aussi être une contrainte puisque la très grande puissance statistique qu'elle confère produit des résultats significatifs même lorsque les différences sont très faibles. Dans les différentes études réalisées, nous avons donc essayé de discuter les résultats en fonction des niveaux d'effets et pas uniquement à partir de la probabilité estimée.

## **3 Perspectives**

### **3.1 Amélioration de la mesure de l'attrance sensorielle par questionnaire**

Des améliorations au questionnaire permettant d'évaluer l'attrance sensorielle pour le gras, le salé et le sucré pourraient être envisagées. En premier lieu, il serait intéressant de collecter le niveau de faim de l'individu lorsqu'il remplit le questionnaire car cela peut influencer ses réponses (Rogers, 2015), notamment en surévaluant l'appréciation d'un aliment ou l'ajout d'un assaisonnement quand la faim est ressentie, ce qui correspondrait davantage à son envie de consommer l'aliment plutôt qu'à sa réelle attrance. De plus, comme mentionné dans les limites du questionnaire, certains comportements tels que l'ajout d'huiles qui sont des graisses de bonne qualité et réputées pour leurs effets bénéfiques pour la santé (World Health Organization, 2003) pourraient être ajoutés dans le questionnaire afin d'enrichir la mesure de l'attrance pour le gras. Par rapport aux résultats obtenus lors de la comparaison de cet outil aux mesures effectuées lors de tests sensoriels, une plus grande diversification des matrices alimentaires peut être proposée, afin d'améliorer la mesure. De même, il paraît important de collecter et de tenir compte de la mesure de la désirabilité sociale dans l'étude de l'attrance sensorielle.

### **3.2 Biais de désirabilité sociale, attirance sensorielle et consommations alimentaires**

Les associations entre l'attirance sensorielle pour le gras et la consommation alimentaire ont mis en évidence des différences de consommations selon le niveau d'attirance de l'individu (Mejean, 2014a). Les résultats obtenus étaient attendus mais les différences de consommation entre ceux qui sont faiblement attirés par le gras et ceux qui sont fortement attirés n'étaient pas aussi importantes que ce qui était attendu partant du principe que la mesure de l'attirance sensorielle reflète les consommations (Drewnowski, 1999b). Afin d'expliquer ces différences d'apports alimentaires selon les groupes d'attirance sensorielle, il serait pertinent d'intégrer le niveau de désirabilité sociale. En effet, il a été mis en évidence que la désirabilité sociale a une influence sur la sous-déclaration des consommations ou la déclaration différentielle selon le groupe d'aliments plutôt recommandé pour la santé ou non (Hebert, 2001; Lafay, 2000; Mossavar-Rahmani, 2013; Tooze, 2004). Notre hypothèse étant que les sujets ayant une forte désirabilité sociale ne déclarent pas leur réelle attirance et leur réelle consommation. En effet, on peut supposer que ces individus sous-estiment la consommation des aliments à limiter et surestiment celle des aliments à favoriser, identifiés comme bénéfiques pour la santé. La mesure de la désirabilité sociale permettrait de prendre en compte ce biais de déclaration dans les analyses des associations entre l'attirance sensorielle et les consommations. Nous avons mis en évidence une première association entre la désirabilité sociale et la déclaration de l'attirance. Nous allons donc explorer les relations entre la désirabilité sociale et les consommations alimentaires dans un second temps. Enfin, nous pourrions évaluer l'impact de la désirabilité sociale sur la déclaration de l'attirance et des consommations simultanément.

### **3.3 Attirance sensorielle pour le gras, le salé et le sucré, et incidence de maladies chroniques**

Quelques études se sont intéressées aux relations entre l'attirance sensorielle et les maladies chroniques et d'autres indicateurs de santé. Duffy et coll. ont mis en évidence que l'attirance pour le gras était positivement associée avec plusieurs facteurs de risque de maladies cardiovasculaires : le tour de taille, l'IMC, la pression artérielle et le rapport du taux de cholestérol total sur le taux de HDL (high-density lipoprotein), et inversement associée avec le taux de HDL (Duffy, 2007; Duffy, 2009). Par ailleurs, il a été montré que l'attirance pour le salé est plus forte chez des individus souffrant d'insuffisance cardiaque (de Souza, 2012) et qu'elle est associée à un risque de cancer de l'estomac plus élevé (Zhang, 2011) ainsi qu'à un risque de mortalité par accident vasculaire cérébrale plus élevé (Ikehara, 2012).

En revanche, l'attirance pour le salé ne semble pas associée à l'hypertension ou la pression artérielle (Fischer, 2012). De même, l'attirance pour le sucré ne semble pas varier chez des individus atteints de diabète de type 2 comparés à des sujets sains, probablement lié au fait que les diabétiques ont accès à de nombreuses alternatives édulcorées permettant de consommer des aliments au goût sucré et maintenir une attirance pour le sucré (Tepper, 1996). La relation entre l'attirance pour les trois sensations (gras, salé et sucré) et l'incidence de diverses maladies chroniques n'a jamais été évaluée. Il serait donc intéressant d'étudier de telles relations sur un large échantillon de la cohorte.

## **4 Applications en santé publique**

### **4.1 Education sensorielle**

Les campagnes d'information actuelles mettent l'accent sur une alimentation équilibrée de meilleure qualité nutritionnelle et la pratique d'une activité physique régulière. Or, ces campagnes de prévention touchent principalement les populations déjà sensibilisées à ces questions (Etievant, 2010). Dans ces travaux de recherche, nous avons démontré la forte influence de l'attirance sensorielle sur les consommations alimentaires. Cependant, les campagnes actuelles sont peut-être trop orientées sur les choix de consommations alimentaires et pas suffisamment sur le goût et l'attirance (Eertmans, 2001) qui seraient un potentiel levier d'action en termes de prévention nutritionnelle, en intégrant un volet sensoriel aux stratégies de nutrition publique.

L'intégration de ces résultats pourrait par exemple, mener à la mise en place d'ateliers d'éducation sensorielle chez des populations à risque afin d'apprendre ou réapprendre à apprécier des aliments plus complexes dans ces populations, conduisant à terme à une diminution de l'attirance pour les aliments gras-salés ou gras-sucrés et une ouverture plus importante du répertoire alimentaire.

### **4.2 Modification de l'offre**

L'attirance sensorielle est un élément majeur dans le choix des consommations, et nous supposons qu'une relation dynamique les lie, l'attirance et les consommations s'influençant mutuellement. Ainsi, un potentiel levier d'action afin de réduire les consommations d'aliments riches en graisses, en sucres simples et en sodium, peut être envisagé, en particulier pour les produits transformés souvent à haute densité énergétique (Monteiro, 2013). Si l'on parvient à déshabituer le palais des consommateurs à aimer des produits très gras, très



salés et/ou très sucrés, on peut imaginer qu'ils soient par conséquent moins attirés et modifient ainsi leurs consommations alimentaires. L'enjeu majeur dans ce processus de réduction de la teneur des produits transformés en graisses, sel et sucres est évidemment de conserver le même plaisir lors de la consommation, combiné à la faisabilité technologique.

Des études ont été menées afin d'évaluer la faisabilité de telles propositions. Concernant le sel, une étude a montré que le niveau de sel préféré dans les aliments est dépendant du niveau de sel consommé et peut-être diminué avec une réduction de la consommation de sel (Bertino, 1982). Cependant, la réduction ne doit pas être trop importante au risque que l'acceptation du produit diminue également (Beauchamp, 1982; Mattes, 1997) et cette réduction doit être réalisée de manière progressive (Girgis, 2003; Guardia, 2006). Concernant la teneur en sucres ajoutés, le remplacement total ou partiel par des édulcorants est une pratique courante, notamment dans les sodas, mais l'attrance de l'individu n'est pas abaissée pour autant et ne permet pas une modification durable de la consommation de produits sucrés. Il a été montré qu'une réduction de la teneur en sucres sans ajout d'édulcorant est également envisageable et acceptable (Chollet, 2013). Enfin, concernant le gras, une étude expérimentale a montré que la réduction de la teneur en matières grasses du régime alimentaire est associée avec une réduction de l'attrance globale pour les aliments gras et une réduction de la teneur préférée en matières grasses de certains aliments (Mattes, 1993). En revanche, une étude expérimentale qui a tenté de réduire à la fois la teneur en sucres et en matières grasses des biscuits, a rapporté des niveaux d'appréciation diminués (Biguzzi, 2015).

Des études approfondies sont donc nécessaires afin de s'assurer de l'acceptabilité à long terme et de la faisabilité technique de la réduction de la teneur en sucres, graisses et sel de produits manufacturés. Dans tous les cas, de telles réductions doivent être progressives et il est nécessaire de s'assurer de l'effet bénéfique à long terme sur l'attrance et les choix alimentaires.

### **4.3 Amélioration de la prise en charge nutritionnelle**

Nous avons démontré l'importance de l'attrance sensorielle dans le déterminisme des consommations alimentaires et du statut pondéral. Lors de la prise en charge nutritionnelle d'un patient en particulier obèse mais aussi diabétique ou hypertendu, il paraît nécessaire que l'attrance et les préférences sensorielles des individus soient considérées. En effet, cette prise en compte individuelle pourrait aider les diététiciens et praticiens à donner des conseils diététiques efficaces et adaptés aux préférences des individus, pour une meilleure réussite des rééquilibrages alimentaires sur le long terme (Eertmans, 2001).

# Conclusion

---

Cette thèse a contribué à fournir de nouvelles connaissances dans le domaine des déterminants sensoriels du comportement alimentaire. Les travaux conduits ont permis d'identifier des profils individuels spécifiques selon l'attrance pour le gras, le salé et le sucré, d'évaluer l'impact sur le statut pondéral et de proposer un cadre conceptuel évaluant le rôle relatif des différents déterminants sur l'alimentation et la variation pondérale. Malgré les limites inhérentes de la collecte de données de nature sensorielle par questionnaire, l'analyse de ces données a permis d'étudier l'attrance sensorielle sur une large population d'adultes français, ce qui n'avait jamais été réalisé.

Dans cette thèse, nous nous sommes intéressés à « l'attrance pour » un goût, mais on peut également se poser la question de l'effet de « l'aversion pour » une sensation. Finalement, de façon très simplifiée, mangeons-nous ce que nous aimons ? Où évitons-nous de manger ce que nous n'aimons pas ?

# Références bibliographiques

---

- Ainsworth BE, Haskell WL, Herrmann SD, Meckes N, Bassett DR, Jr., Tudor-Locke C, et al. (2011) 2011 Compendium of Physical Activities: a second update of codes and MET values. *Med Sci Sports Exerc*, 43(8):1575-81.
- Andreeva VA, Galan P, Julia C, Castetbon K, Kesse-Guyot E, Hercberg S. (2014) Assessment of response consistency and respective participant profiles in the Internet-based NutriNet-Sante Cohort. *Am J Epidemiol*, 179(7):910-6.
- Andreeva VA, Salanave B, Castetbon K, Deschamps V, Vernay M, Kesse-Guyot E, et al. (2015) Comparison of the sociodemographic characteristics of the large NutriNet-Sante e-cohort with French Census data: the issue of volunteer bias revisited. *J Epidemiol Community Health*, 69(9):893-8.
- Angle S, Engblom J, Eriksson T, Kautiainen S, Saha MT, Lindfors P, et al. (2009) Three factor eating questionnaire-R18 as a measure of cognitive restraint, uncontrolled eating and emotional eating in a sample of young Finnish females. *Int J Behav Nutr Phys Act*, 6:41.
- Anschutz DJ, Van ST, Van De Ven MO, Engels RC. (2009) Eating styles and energy intake in young women. *Appetite*, 53(1):119-22.
- Apfelbaum M, Romon M, Dubus M. *Diététique et nutrition* (2004) 6ème édition ed.
- Arnault N, Caillot L, Castetbon K, Coronel SD, V, Fezeu L, Figuette M, et al. *Table de composition des aliments NutriNet-Santé* (2013) Paris: Editions Economica.
- Atkinson RL, Dietz WH, Foreyt JP, Goodwin NJ, Hill JO, Hirsch J, et al. (1994) Weight cycling. National Task Force on the Prevention and Treatment of Obesity. *JAMA*, 272(15):1196-202.
- Aubert R, Betoulle D, Herbeth B, Siest G, Fumeron F. (2000) 5-HT2A receptor gene polymorphism is associated with food and alcohol intake in obese people. *Int J Obes Relat Metab Disord*, 24(7):920-4.
- Babayou P, Chambolle M, Volatier JL. (1996) Les disparités régionales de la consommation alimentaire des ménages français. Paris: *Credoc*.
- Badman MK, Flier JS. (2005) The gut and energy balance: visceral allies in the obesity wars. *Science*, 307(5717):1909-14.
- Bagwell K. The economic analysis of advertising. *Handbook of industrial organization*. 2007. p. 1701-844.
- Ball K, Crawford D. (2005) Socioeconomic status and weight change in adults: a review. *Soc Sci Med*, 60(9):1987-2010.

- Bartoshuk LM. (1993) The biological basis of food perception and acceptance. *Food Quality and Preference*, 4(1-2):21-32.
- Bartoshuk LM, Duffy VB, Hayes JE, Moskowitz HR, Snyder DJ. (2006) Psychophysics of sweet and fat perception in obesity: problems, solutions and new perspectives. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci*, 361(1471):1137-48.
- Bartoshuk LM, Duffy VB, Miller IJ. (1994) PTC/PROP tasting: anatomy, psychophysics, and sex effects. *Physiol Behav*, 56(6):1165-71.
- Beauchamp GK, Bertino M, Burke D, Engelman K. (1990a) Experimental sodium depletion and salt taste in normal human volunteers. *Am J Clin Nutr*, 51(5):881-9.
- Beauchamp GK, Bertino M, Moran M. (1982) Sodium regulation: Sensory aspects. *J Am Diet Assoc*, 80(1):40-5.
- Beauchamp GK, Cowart BJ. (1990b) Preference for high salt concentrations among children. *Developmental Psychology*, 26(4):539-45.
- Bellisle F. (1999) Glutamate and the UMAMI taste: sensory, metabolic, nutritional and behavioural considerations. A review of the literature published in the last 10 years. *Neurosci Biobehav Rev*, 23(3):423-38.
- Bellisle F. (2006) Des qualités organoleptiques des aliments aux choix alimentaires. *Cahiers de Nutrition et de Diététique*, 41(269):272.
- Berridge KC. (1996) Food reward: brain substrates of wanting and liking. *Neurosci Biobehav Rev*, 20(1):1-25.
- Berridge KC, Robinson TE. (2003) Parsing reward. *Trends Neurosci*, 26(9):507-13.
- Berridge KC, Robinson TE, Aldridge JW. (2009) Dissecting components of reward: 'liking', 'wanting', and learning. *Curr Opin Pharmacol*, 9(1):65-73.
- Berthoud HR. (2011) Metabolic and hedonic drives in the neural control of appetite: who is the boss? *Curr Opin Neurobiol*, 21(6):888-96.
- Bertino M, Beauchamp GK, Engelman K. (1982) Long-term reduction in dietary sodium alters the taste of salt. *Am J Clin Nutr*, 36(6):1134-44.
- Besnard P, Passilly-Degrace P, Khan NA. (2016) Taste of Fat: A Sixth Taste Modality? *Physiol Rev*, 96(1):151-76.
- Biguzzi C, Lange C, Schlich P. (2015) Effect of sensory exposure on liking for fat- or sugar-reduced biscuits. *Appetite*, 95:317-23.
- Birch LL. (1980a) Effects of peer models' food choices and eating behaviors on preschoolers' food preferences. *Child Development*, 51(2):489-96.
- Birch LL. (1999) Development of food preferences. *Annu Rev Nutr*, 19:41-62.



- Birch LL, Birch D, Marlin DW, Kramer L. (1982) Effects of instrumental consumption on children's food preference. *Appetite*, 3(2):125-34.
- Birch LL, Fisher JO. (1998) Development of eating behaviors among children and adolescents. *Pediatrics*, 101(3 Pt 2):539-49.
- Birch LL, Johnson SL, Andresen G, Peters JC, Schulte MC. (1991) The variability of young children's energy intake. *N Engl J Med*, 324(4):232-5.
- Birch LL, Zimmerman SI, Hind H. (1980b) The influence of social-affective context on the formation of children's food preferences. *Child Development*, 51:856-61.
- Black AE. (2000) Critical evaluation of energy intake using the Goldberg cut-off for energy intake: basal metabolic rate. A practical guide to its calculation, use and limitations. *Int J Obes Relat Metab Disord*, 24(9):1119-30.
- Blair JA, Booth DA, Lewis VJ, Wainwright CJ. (1989) The relative success of official and informal weight reduction techniques: retrospective correlational evidence. *Psychology & Health*, 3(3):195-206.
- Blundell JE, Cooling J. (1999) High-fat and low-fat (behavioural) phenotypes: biology or environment? *Proc Nutr Soc*, 58(4):773-7.
- Blundell JE, Finlayson G. (2004) Is susceptibility to weight gain characterized by homeostatic or hedonic risk factors for overconsumption? *Physiol Behav*, 82(1):21-5.
- Blundell JE, Stubbs RJ, Golding C, Croden F, Alam R, Whybrow S, et al. (2005) Resistance and susceptibility to weight gain: individual variability in response to a high-fat diet. *Physiol Behav*, 86(5):614-22.
- Bollen K. *Structural equations with latent variables* (1989) Wiley-Interscience ed. New-York:
- Booth SL, Sallis JF, Ritenbaugh C, Hill JO, Birch LL, Frank LD, et al. (2001) Environmental and societal factors affect food choice and physical activity: rationale, influences, and leverage points. *Nutr Rev*, 59(3 Pt 2):S21-S39.
- Bouchard L, Drapeau V, Provencher V, Lemieux S, Chagnon Y, Rice T, et al. (2004) Neuromedin beta: a strong candidate gene linking eating behaviors and susceptibility to obesity. *Am J Clin Nutr*, 80(6):1478-86.
- Boutrolle I, Delarue J, Arranz D, Rogeaux M, Koster EP. (2007) Central location test vs. home use test: Contrasting results depending on product type. *Food Quality and Preference*, 18(3):490-9.
- Brunstrom JM, Burn JF, Sell NR, Collingwood JM, Rogers PJ, Wilkinson LL, et al. (2012) Episodic memory and appetite regulation in humans. *PLoS One*, 7(12):e50707.
- Byrne BM. *Structural equation modeling with Lisrel, Prelis, and Simplis: basic concepts, applications, and programming* (2013) New-York: Psychology Press.

- C.R.E.A. (1990) L'adolescent et l'alimentation. Etude CFES. Paris:C.F.E.S..
- Cabanac M. (1971) Physiological role of pleasure. *Science*, 173(4002):1103-7.
- Cabanac M. (1989) [Maximization of pleasure, the answer to a conflict of motivations]. *C R Acad Sci III*, 309(10):397-402.
- Cade JE, Burley VJ, Warm DL, Thompson RL, Margetts BM. (2004) Food-frequency questionnaires: a review of their design, validation and utilisation. *Nutr Res Rev*, 17(1):5-22.
- Cai G, Cole SA, Bastarrachea RA, Maccluer JW, Blangero J, Comuzzie AG. (2004) Quantitative trait locus determining dietary macronutrient intakes is located on human chromosome 2p22. *Am J Clin Nutr*, 80(5):1410-4.
- Camilleri GM, Mejean C, Bellisle F, Andreeva VA, Kesse-Guyot E, Hercberg S, et al. (2016) Intuitive eating is inversely associated with body weight status in the general population-based NutriNet-Sante study. *Obesity (Silver Spring)*, 24(5):1154-61.
- Camilleri GM, Mejean C, Bellisle F, Hercberg S, Peneau S. (2015) Association between Mindfulness and Weight Status in a General Population from the NutriNet-Sante Study. *PLoS One*, 10(6):e0127447.
- Camilleri GM, Mejean C, Kesse-Guyot E, Andreeva VA, Bellisle F, Hercberg S, et al. (2014) The Associations between Emotional Eating and Consumption of Energy-Dense Snack Foods Are Modified by Sex and Depressive Symptomatology. *J Nutr*, 144(8):1264-73.
- Carroll RJ, Midthune D, Subar AF, Shumakovich M, Freedman LS, Thompson FE, et al. (2012) Taking advantage of the strengths of 2 different dietary assessment instruments to improve intake estimates for nutritional epidemiology. *Am J Epidemiol*, 175(4):340-7.
- Castetbon K. Consommations alimentaires et apports nutritionnels en France. *Inégalités sociales de santé en lien avec l'alimentation et l'activité physique - Expertise collective*. Inserm ed. Paris: ITMO Santé Publique - Aviesan; 2014a. p. 81-6.
- Castetbon K. Position socioéconomique et alimentation. *Inégalités sociales de santé en lien avec l'alimentation et l'activité physique - Expertise collective*. Inserm ed. Paris: ITMO Santé Publique - Aviesan; 2014b. p. 119-53.
- Castetbon K, Vernay M, Malon A, Salanave B, Deschamps V, Roudier C, et al. (2009) Dietary intake, physical activity and nutritional status in adults: the French nutrition and health survey (ENNS, 2006-2007). *Br J Nutr*, 102(5):733-43.
- Castro DC, Berridge KC. (2014) Advances in the neurobiological bases for food 'liking' versus 'wanting'. *Physiol Behav*, 136:22-30.
- Caton SJ, Ball M, Ahern A, Hetherington MM. (2004) Dose-dependent effects of alcohol on appetite and food intake. *Physiol Behav*, 81(1):51-8.

- Chaix B. Environnement alimentaire et comportements alimentaires. *Inégalités sociales de santé en lien avec l'alimentation et l'activité physique - Expertise collective*. Inserm ed. Paris: ITMO Santé Publique - Aviesan; 2014. p. 309-27.
- Chan TY, Narasimhan C, Zhang Q. (2006) Decomposing promotion effects with a dynamic structural model of flexible consumption. *Journal of Marketing Research*, 45(4):487-98.
- Chapelot D, Pasquet P, Apfelbaum M, Fricker J. (1995) Cognitive factors in the dietary response of restrained and unrestrained eaters to manipulation of the fat content of a dish. *Appetite*, 25(2):155-75.
- Chapman CD, Benedict C, Brooks SJ, Schioth HB. (2012) Lifestyle determinants of the drive to eat: a meta-analysis. *Am J Clin Nutr*, 96(3):492-7.
- Chollet M, Gille D, Schmid A, Walther B, Piccinali P. (2013) Acceptance of sugar reduction in flavored yogurt. *J Dairy Sci*, 96(9):5501-11.
- Choong SS, Balan SN, Chua LS, Say YH. (2012) Preference and intake frequency of high sodium foods and dishes and their correlations with anthropometric measurements among Malaysian subjects. *Nutr Res Pract*, 6(3):238-45.
- Cohen DA. (2008) Obesity and the built environment: changes in environmental cues cause energy imbalances. *Int J Obes (Lond)*, 32 Suppl 7:S137-S142.
- Comité OMS. (1995) Utilisation et interprétation de l'anthropométrie. Genève: *Organisation Mondiale de la Santé*; Report No: 854.
- Conner MT, Booth DA. (1988) Preferred sweetness of a lime drink and preference for sweet over non-sweet foods, related to sex and reported age and body weight. *Appetite*, 10(1):25-35.
- Connor Gorber S, Tremblay M, Moher D, Gorber B. (2007) A comparison of direct vs. self-report measures for assessing height, weight and body mass index: a systematic review. *Obes Rev*, 8(4):307-26.
- Cooling J, Blundell J. (1998) Are high-fat and low-fat consumers distinct phenotypes? Differences in the subjective and behavioural response to energy and nutrient challenges. *Eur J Clin Nutr*, 52(3):193-201.
- Cordain L, Eaton SB, Sebastian A, Mann N, Lindeberg S, Watkins BA, et al. (2005) Origins and evolution of the Western diet: health implications for the 21st century. *Am J Clin Nutr*, 81(2):341-54.
- Cox DN, Hendrie GA, Carty D. (2016) Sensitivity, hedonics and preferences for basic tastes and fat amongst adults and children of differing weight status: a comprehensive review. *Food Qual Prefer*, 48:359-67.
- Cox DN, Perry L, Moore PB, Vallis L, Mela DJ. (1999) Sensory and hedonic associations with macronutrient and energy intakes of lean and obese consumers. *Int J Obes Relat Metab Disord*, 23(4):403-10.

- Cox DN, van GM, Hedderley D, Perry L, Moore PB, Mela DJ. (1998) Sensory and hedonic judgments of common foods by lean consumers and consumers with obesity. *Obes Res*, 6(6):438-47.
- Craig CL, Marshall AL, Sjostrom M, Bauman AE, Booth ML, Ainsworth BE, et al. (2003) International physical activity questionnaire: 12-country reliability and validity. *Med Sci Sports Exerc*, 35(8):1381-95.
- Crowne DP, MARLOWE D. (1960) A new scale of social desirability independent of psychopathology. *J Consult Psychol*, 24:349-54.
- Cruwys T, Bevelander KE, Hermans RC. (2015) Social modeling of eating: a review of when and why social influence affects food intake and choice. *Appetite*, 86:3-18.
- D'Archivio M, Filesì C, Di BR, Gargiulo R, Giovannini C, Masella R. (2007) Polyphenols, dietary sources and bioavailability. *Ann Ist Super Sanita*, 43(4):348-61.
- Darmon N, Drewnowski A. (2008) Does social class predict diet quality? *Am J Clin Nutr*, 87(5):1107-17.
- Davis C, Strachan S, Berkson M. (2004) Sensitivity to reward: implications for overeating and overweight. *Appetite*, 42(2):131-8.
- de Castro JM. (1987) Circadian rhythms of the spontaneous meal pattern, macronutrient intake, and mood of humans. *Physiol Behav*, 40(4):437-46.
- de Castro JM. (1991) Weekly rhythms of spontaneous nutrient intake and meal pattern of humans. *Physiol Behav*, 50(4):729-38.
- de Castro JM. (1995) The relationship of cognitive restraint to the spontaneous food and fluid intake of free-living humans. *Physiol Behav*, 57(2):287-95.
- de Castro JM. (1997) Socio-cultural determinants of meal size and frequency. *Br J Nutr*, 77 Suppl 1:S39-S54.
- de Castro JM, Lilenfeld LR. (2005) Influence of heredity on dietary restraint, disinhibition, and perceived hunger in humans. *Nutrition*, 21(4):446-55.
- De Graaf C, Cardello AV, Matthew KF, Leshner LL, Meiselman HL, Schutz HG. (2005) A comparison between liking ratings obtained under laboratory and field conditions: the role of choice. *Appetite*, 44(1):15-22.
- De Graaf C, Zandstra EH. (1999) Sweetness intensity and pleasantness in children, adolescents, and adults. *Physiol Behav*, 67(4):513-20.
- De Jong N, De Graaf C, Van Staveren WA. (1996) Effect of sucrose in breakfast items on pleasantness and food intake in the elderly. *Physiol Behav*, 60(6):1453-62.



- De Lauzon B, Romon M, Deschamps V, Lafay L, Borys JM, Karlsson J, et al. (2004) The Three-Factor Eating Questionnaire-R18 is able to distinguish among different eating patterns in a general population. *J Nutr*, 134(9):2372-80.
- De Saint Pol T. (2008) La consommation alimentaire des hommes et femmes vivants seuls. *Insee Premiere*, 1194.
- de Souza JT, Matsubara LS, Menani JV, Matsubara BB, Johnson AK, De Gobbi JI. (2012) Higher salt preference in heart failure patients. *Appetite*, 58(1):418-23.
- Deglaire A, Mejean C, Castetbon K, Kesse-Guyot E, Hercberg S, Schlich P. (2015) Associations between weight status and liking scores for sweet, salt and fat according to the gender in adults (The Nutrinet-Sante study). *Eur J Clin Nutr*, 69(1):40-6.
- Deglaire A, Mejean C, Castetbon K, Kesse-Guyot E, Urbano C, Hercberg S, et al. (2012) Development of a questionnaire to assay recalled liking for salt, sweet and fat. *Food Qual Prefer*, 23(2):110-24.
- Deglaire A, Urbano C, Mejean C, Hercberg S, Schlich P. Measuring liking for sweet, salt and fat by questionnaire and sensory test: complementary approaches. *9<sup>th</sup> Pangborn Sensory Science Symposium* (2011).
- Delgado-Rodriguez M, Llorca J. (2004) Bias. *J Epidemiol Community Health*, 58(8):635-41.
- Desor JA, Beauchamp GK. (1987) Longitudinal changes in sweet preferences in humans. *Physiol Behav*, 39(5):639-41.
- Desor JA, Maller O, Andrews K. (1975) Ingestive responses of human newborns to salty, sour, and bitter stimuli. *J Comp Physiol Psychol*, 89(8):966-70.
- Dina C, Meyre D, Gallina S, Durand E, Korner A, Jacobson P, et al. (2007) Variation in FTO contributes to childhood obesity and severe adult obesity. *Nat Genet*, 39(6):724-6.
- Direction générale de l'alimentation, Ministère de l'agriculture dldlpdlreddtd. (2010) Rapport du groupe PNNS, qualité gustative des aliments et environnement des repas : restauration scolaire, hospitalière et aide alimentaire.
- Donaldson LF, Bennett L, Baic S, Melichar JK. (2009) Taste and weight: is there a link? *Am J Clin Nutr*, 90(3):800S-3S.
- Dovey TM, Staples PA, Gibson EL, Halford JC. (2008) Food neophobia and 'picky/fussy' eating in children: a review. *Appetite*, 50(2-3):181-93.
- Drayna D. (2005) Human taste genetics. *Annu Rev Genomics Hum Genet*, 6:217-35.
- Drewnowski A. (1989) Sensory preferences for fat and sugar in adolescence and adult life. *Ann N Y Acad Sci*, 561:243-50.
- Drewnowski A. (1997a) Taste preferences and food intake. *Annu Rev Nutr*, 17:237-53.
- Drewnowski A. (1997b) Why do we like fat? *J Am Diet Assoc*, 97(7 Suppl):S58-S62.

- Drewnowski A. (2001a) The science and complexity of bitter taste. *Nutr Rev*, 59(6):163-9.
- Drewnowski A, Almiron-Roig E. Human Perceptions and Preferences for Fat-Rich Foods. In: Jean-Pierre Montmayeur JIC, editor. *Fat detection - taste, texture, and post ingestive effects*. Dijon: Boca Raton (FL); 2010.
- Drewnowski A, Brunzell JD, Sande K, Iverius PH, Greenwood MR. (1985) Sweet tooth reconsidered: taste responsiveness in human obesity. *Physiol Behav*, 35(4):617-22.
- Drewnowski A, Darmon N. (2005) Food choices and diet costs: an economic analysis. *J Nutr*, 135(4):900-4.
- Drewnowski A, Gomez-Carneros C. (2000a) Bitter taste, phytonutrients, and the consumer: a review. *Am J Clin Nutr*, 72(6):1424-35.
- Drewnowski A, Hann C. (1999a) Food preferences and reported frequencies of food consumption as predictors of current diet in young women. *Am J Clin Nutr*, 70(1):28-36.
- Drewnowski A, Hann C, Henderson SA, Gorenflo D. (2000b) Both food preferences and food frequency scores predict fat intakes of women with breast cancer. *J Am Diet Assoc*, 100(11):1325-33.
- Drewnowski A, Henderson SA, Barratt-Fornell A. (2001b) Genetic taste markers and food preferences. *Drug Metab Dispos*, 29(4 Pt 2):535-8.
- Drewnowski A, Henderson SA, Cockroft JE. (2007) Genetic sensitivity to 6-n-propylthiouracil has no influence on dietary patterns, body mass indexes, or plasma lipid profiles of women. *J Am Diet Assoc*, 107(8):1340-8.
- Drewnowski A, Henderson SA, Driscoll A, Rolls BJ. (1996) Salt taste perceptions and preferences are unrelated to sodium consumption in healthy older adults. *J Am Diet Assoc*, 96(5):471-4.
- Drewnowski A, Henderson SA, Levine A, Hann C. (1999b) Taste and food preferences as predictors of dietary practices in young women. *Public Health Nutr*, 2(4):513-9.
- Drewnowski A, Kristal A, Cohen J. (2001c) Genetic taste responses to 6-n-propylthiouracil among adults: a screening tool for epidemiological studies. *Chem Senses*, 26(5):483-9.
- Drewnowski A, Kurth C, Holden-Wiltse J, Saari J. (1992) Food preferences in human obesity: carbohydrates versus fats. *Appetite*, 18(3):207-21.
- Drewnowski A, Kurth CL, Rahaim JE. (1991) Taste preferences in human obesity: environmental and familial factors. *Am J Clin Nutr*, 54(4):635-41.
- Droomers M, Schrijvers CT, Mackenbach JP. (2002) Why do lower educated people continue smoking? Explanations from the longitudinal GLOBE study. *Health Psychol*, 21(3):263-72.

- Duffy VB, Bartoshuk LM. (2000) Food acceptance and genetic variation in taste. *J Am Diet Assoc*, 100(6):647-55.
- Duffy VB, Hayes JE, Sullivan BS, Faghri P. (2009) Surveying food and beverage liking: a tool for epidemiological studies to connect chemosensation with health outcomes. *Ann N Y Acad Sci*, 1170:558-68.
- Duffy VB, Lanier SA, Hutchins HL, Pescatello LS, Johnson MK, Bartoshuk LM. (2007) Food preference questionnaire as a screening tool for assessing dietary risk of cardiovascular disease within health risk appraisals. *J Am Diet Assoc*, 107(2):237-45.
- Duffy VB, Peterson JM, Dinehart ME, Bartoshuk LM. (2003) Genetic and Environmental Variation in Taste: Associations With Sweet Intensity, Preference, and Intake. *Topics in Clinical Nutrition*, 18(4).
- Eertmans A, Baeyens F, Van den Bergh O. (2001) Food likes and their relative importance in human eating behavior: review and preliminary suggestions for health promotion. *Health Educ Res*, 16(4):443-56.
- Elfhag K, Erlanson-Albertsson C. (2006) Sweet and fat taste preference in obesity have different associations with personality and eating behavior. *Physiol Behav*, 88(1-2):61-6.
- Elfhag K, Tholin S, Rasmussen F. (2008) Consumption of fruit, vegetables, sweets and soft drinks are associated with psychological dimensions of eating behaviour in parents and their 12-year-old children. *Public Health Nutr*, 11(9):914-23.
- Enns MP, Van Itallie TB, Grinker JA. (1979) Contributions of age, sex and degree of fatness on preferences and magnitude estimations for sucrose in humans. *Physiol Behav*, 22(5):999-1003.
- Epstein LH, Dearing KK, Handley EA, Roemmich JN, Paluch RA. (2006a) Relationship of mother and child food purchases as a function of price: a pilot study. *Appetite*, 47(1):115-8.
- Epstein LH, Dearing KK, Paluch RA, Roemmich JN, Cho D. (2007) Price and maternal obesity influence purchasing of low- and high-energy-dense foods. *Am J Clin Nutr*, 86(4):914-22.
- Epstein LH, Handley EA, Dearing KK, Cho DD, Roemmich JN, Paluch RA, et al. (2006b) Purchases of food in youth. Influence of price and income. *Psychol Sci*, 17(1):82-9.
- Epstein LH, Wright SM, Paluch RA, Leddy JJ, Hawk LW, Jr., Jaroni JL, et al. (2004) Relation between food reinforcement and dopamine genotypes and its effect on food intake in smokers. *Am J Clin Nutr*, 80(1):82-8.
- Erlanson-Albertsson C. (2005) How palatable food disrupts appetite regulation. *Basic Clin Pharmacol Toxicol*, 97(2):61-73.

- Escalon H, Bossard C, Beck F. (2009) Baromètre santé nutrition 2008. Saint-Denis: *Baromètre santé*.
- Esses VM, Herman CP. (1984) Palatability of sucrose before and after glucose ingestion in dieters and nondieters. *Physiol Behav*, 32(5):711-5.
- Estruch R, Ros E, Salas-Salvado J, Covas MI, Corella D, Aros F, et al. (2013) Primary prevention of cardiovascular disease with a Mediterranean diet. *N Engl J Med*, 368(14):1279-90.
- Etievant P, Bellisle F, Dallongeville J, Etile F, Guichard E, Padilla M. (2010) Les comportements alimentaires. Quels en sont les déterminants? Quelles actions, pour quels effets? Expertise scientifique collective, rapport, INRA (France). *Romon-Rousseaux*.
- Faith MS, Keller KL, Johnson SL, Pietrobelli A, Matz PE, Must S, et al. (2004) Familial aggregation of energy intake in children. *Am J Clin Nutr*, 79(5):844-50.
- Falissard B. *Comprendre et utiliser les statistiques dans les sciences de la vie* (2005) 3 ed. Paris: Masson.
- Farooqi IS, Matarese G, Lord GM, Keogh JM, Lawrence E, Agwu C, et al. (2002) Beneficial effects of leptin on obesity, T cell hyporesponsiveness, and neuroendocrine/metabolic dysfunction of human congenital leptin deficiency. *J Clin Invest*, 110(8):1093-103.
- Fedoroff IC, Polivy J, Herman CP. (1997) The effect of pre-exposure to food cues on the eating behavior of restrained and unrestrained eaters. *Appetite*, 28(1):33-47.
- Feunekes GI, de GC, Meyboom S, Van Staveren WA. (1998) Food choice and fat intake of adolescents and adults: associations of intakes within social networks. *Prev Med*, 27(5 Pt 1):645-56.
- Finlayson G, King N, Blundell J. (2008) The role of implicit wanting in relation to explicit liking and wanting for food: implications for appetite control. *Appetite*, 50(1):120-7.
- Finlayson G, King N, Blundell JE. (2007a) Is it possible to dissociate 'liking' and 'wanting' for foods in humans? A novel experimental procedure. *Physiol Behav*, 90(1):36-42.
- Finlayson G, King N, Blundell JE. (2007b) Liking vs. wanting food: importance for human appetite control and weight regulation. *Neurosci Biobehav Rev*, 31(7):987-1002.
- Fischer ME, Cruickshanks KJ, Pinto A, Schubert CR, Klein BE, Klein R, et al. (2012) Intensity of Salt Taste and Prevalence of Hypertension Are Not Related in the Beaver Dam Offspring Study. *Chemosens Percept*, 5(2):139-45.
- Fischler C, Chiva M. Food likes, dislikes and some of their correlates in a sample of french children and young adults. In: Diehl JM, Leitzmann C, editors. *Measurement and determinants of food habits and food preferences*. Wageningen: Department of Human Nutrition, Agricultural University; 1985. p. 137-56.



- Frayling TM, Timpson NJ, Weedon MN, Zeggini E, Freathy RM, Lindgren CM, et al. (2007) A common variant in the FTO gene is associated with body mass index and predisposes to childhood and adult obesity. *Science*, 316(5826):889-94.
- French SA. (2003) Pricing effects on food choices. *J Nutr*, 133(3):841S-3S.
- French SA, Story M, Jeffery RW, Snyder P, Eisenberg M, Sidebottom A, et al. (1997) Pricing strategy to promote fruit and vegetable purchase in high school cafeterias. *J Am Diet Assoc*, 97(9):1008-10.
- Fried M, Schwizer W, Beglinger C, Keller U, Jansen JB, Lamers CB. (1991) Physiological role of cholecystokinin on postprandial insulin secretion and gastric meal emptying in man. Studies with the cholecystokinin receptor antagonist loxiglumide. *Diabetologia*, 34(10):721-6.
- Friso S, Lotto V, Corrocher R, Choi SW. (2012) Vitamin B6 and cardiovascular disease. *Subcell Biochem*, 56:265-90.
- Frye CA, Demolar GL. (1994) Menstrual cycle and sex differences influence salt preference. *Physiol Behav*, 55(1):193-7.
- Gaillard D, Passilly-Degrace P, Besnard P. (2008) Molecular mechanisms of fat preference and overeating. *Ann N Y Acad Sci*, 1141:163-75.
- Galea S, Tracy M. (2007) Participation rates in epidemiologic studies. *Ann Epidemiol*, 17(9):643-53.
- Ganchrow JR, Mennella JA. The ontogeny of human flavor perception. In: Doty RL, editor. *Handbook of olfaction and gustation*. New-York: M Dekker; 2003. p. 823-46.
- Ganchrow JR, Steiner JE, Daher M. (1983) Neonatal facial expressions in response to different qualities and intensities of gustatory stimuli. *Infant Behavior and Development*, 6(473):484.
- Gersovitz M, Madden JP, Smiciklas-Wright H. (1978) Validity of the 24-hr. dietary recall and seven-day record for group comparisons. *J Am Diet Assoc*, 73(1):48-55.
- Gibson EL, Wardle J. (2003) Energy density predicts preferences for fruit and vegetables in 4-year-old children. *Appetite*, 41(1):97-8.
- Girgis S, Neal B, Prescott J, Prendergast J, Dumbrell S, Turner C, et al. (2003) A one-quarter reduction in the salt content of bread can be made without detection. *Eur J Clin Nutr*, 57(4):616-20.
- Giskes K, Avendano M, Brug J, Kunst AE. (2010) A systematic review of studies on socioeconomic inequalities in dietary intakes associated with weight gain and overweight/obesity conducted among European adults. *Obes Rev*, 11(6):413-29.

- Glanz K, Basil M, Maibach E, Goldberg J, Snyder D. (1998) Why Americans eat what they do: taste, nutrition, cost, convenience, and weight control concerns as influences on food consumption. *J Am Diet Assoc*, 98(10):1118-26.
- Glanz K, Sallis JF, Saelens BE, Frank LD. (2005) Healthy nutrition environments: concepts and measures. *Am J Health Promot*, 19(5):330-3, ii.
- Goldberg GR, Black AE, Jebb SA, Cole TJ, Murgatroyd PR, Coward WA, et al. (1991) Critical evaluation of energy intake data using fundamental principles of energy physiology: 1. Derivation of cut-off limits to identify under-recording. *Eur J Clin Nutr*, 45(12):569-81.
- Gombaut V. (2011) Deux ménages sur trois disposent d'internet chez eux. *Insee Première*; Report No: 1340.
- Grignon CH. (1986) Alimentation et région. *Cahiers de Nutrition et de Diététique*, 21(5):381-9.
- Grinker J. (1978) Obesity and sweet taste. *Am J Clin Nutr*, 31(6):1078-87.
- Grunberg NE. (1982) The effects of nicotine and cigarette smoking on food consumption and taste preferences. *Addict Behav*, 7(4):317-31.
- Guardia MD, Guerrero L, Gelabert J, Gou P, Arnau J. (2006) Consumer attitude towards sodium reduction in meat products and acceptability of fermented sausages with reduced sodium content. *Meat Sci*, 73(3):484-90.
- Guilbert P, Perrin-Escalon H, Lamoureux P. (2002) Baromètre santé nutrition 2002. Saint-Denis: *Inpes*.
- Habhab S, Sheldon JP, Loeb RC. (2009) The relationship between stress, dietary restraint, and food preferences in women. *Appetite*, 52(2):437-44.
- Hagstromer M, Oja P, Sjostrom M. (2006) The International Physical Activity Questionnaire (IPAQ): a study of concurrent and construct validity. *Public Health Nutr*, 9(6):755-62.
- Halford JC, Blundell JE. (2000) Separate systems for serotonin and leptin in appetite control. *Ann Med*, 32(3):222-32.
- Hallal PC, Victora CG. (2004) Reliability and validity of the International Physical Activity Questionnaire (IPAQ). *Med Sci Sports Exerc*, 36(3):556.
- Harrold JA, Dovey TM, Blundell JE, Halford JC. (2012) CNS regulation of appetite. *Neuropharmacology*, 63(1):3-17.
- Hashimoto T, Yagami F, Owada M, Sugawara T, Kawamura M. (2008) Salt preference according to a questionnaire vs. dietary salt intake estimated by a spot urine method in participants at a health check-up center. *Intern Med*, 47(5):399-403.

- Hayes JE, Duffy VB. (2007) Revisiting sugar-fat mixtures: sweetness and creaminess vary with phenotypic markers of oral sensation. *Chem Senses*, 32(3):225-36.
- Hayes JE, Duffy VB. (2008) Oral sensory phenotype identifies level of sugar and fat required for maximal liking. *Physiol Behav*, 95(1-2):77-87.
- Hayes JE, Sullivan BS, Duffy VB. (2010) Explaining variability in sodium intake through oral sensory phenotype, salt sensation and liking. *Physiol Behav*, 100(4):369-80.
- Hays NP, Bathalon GP, McCrory MA, Roubenoff R, Lipman R, Roberts SB. (2002) Eating behavior correlates of adult weight gain and obesity in healthy women aged 55-65 y. *Am J Clin Nutr*, 75(3):476-83.
- Hays NP, Roberts SB. (2008) Aspects of eating behaviors "disinhibition" and "restraint" are related to weight gain and BMI in women. *Obesity (Silver Spring)*, 16(1):52-8.
- HCSP. (2000) Pour une politique nutritionnelle de santé publique en France, enjeux et propositions. Rennes:ENSP.
- He FJ, MacGregor GA. (2007) Salt, blood pressure and cardiovascular disease. *Curr Opin Cardiol*, 22(4):298-305.
- He FJ, MacGregor GA. (2014) Salt intake and mortality. *Am J Hypertens*, 27(11):1424.
- Hebert JR, Peterson KE, Hurley TG, Stoddard AM, Cohen N, Field AE, et al. (2001) The effect of social desirability trait on self-reported dietary measures among multi-ethnic female health center employees. *Ann Epidemiol*, 11(6):417-27.
- Heitmann BL, Harris JR, Lissner L, Pedersen NL. (1999) Genetic effects on weight change and food intake in Swedish adult twins. *Am J Clin Nutr*, 69(4):597-602.
- Henry CJ. (1990) Body mass index and the limits of human survival. *Eur J Clin Nutr*, 44(4):329-35.
- Herbeth B, Aubry E, Fumeron F, Aubert R, Cailotto F, Siest G, et al. (2005) Polymorphism of the 5-HT2A receptor gene and food intakes in children and adolescents: the Stanislas Family Study. *Am J Clin Nutr*, 82(2):467-70.
- Hercberg S, Castetbon K, Czernichow S, Malon A, Mejean C, Kesse E, et al. (2010) The Nutrinet-Sante Study: a web-based prospective study on the relationship between nutrition and health and determinants of dietary patterns and nutritional status. *BMC Public Health*, 10:242.
- Hercberg S, Chat-Yung S, Chauliac M. (2008) The French National Nutrition and Health Program: 2001-2006-2010. *Int J Public Health*, 53(2):68-77.
- Herpin N. (1984) Alimentation et régionalisme. Paris:Insee édition; Report No: 340-341.
- Herpin N, Verger D. *Consommations et modes de vie en France : une approche économique et sociologique sur un demi-siècle* (2008) Paris: La Découverte.

- Hesse-Biber S, Leavy P, Quinn CE, Zoino J. (2006) The mass marketing of disordered eating and Eating Disorders: The social psychology of women, thinness and culture. *Women's Studies International Forum*, 29(2):208-24.
- Hetherington MM, Anderson AS, Norton GN, Newson L. (2006) Situational effects on meal intake: A comparison of eating alone and eating with others. *Physiol Behav*, 88(4-5):498-505.
- Higgs S, Thomas J. (2016) Social influences on eating. *Current Opinion in Behavioral Sciences*, 9:1-6.
- Hoefling A, Strack F. (2008) The tempting effect of forbidden foods. High calorie content evokes conflicting implicit and explicit evaluations in restrained eaters. *Appetite*, 51(3):681-9.
- Holt SHA, Cobiac L, Beaumont-Smith NE, Easton K, Best DJ. (2000) Dietary habits and the perception and liking of sweetness among Australian and Malaysian students: A cross-cultural study. *Food Quality and Preference*, 11(4):299-312.
- Houben K, Roefs A, Jansen A. (2010) Guilty pleasures. Implicit preferences for high calorie food in restrained eating. *Appetite*, 55(1):18-24.
- Houben K, Roefs A, Jansen A. (2012) Guilty pleasures II: restrained eaters' implicit preferences for high, moderate and low-caloric food. *Eat Behav*, 13(3):275-7.
- Hu LT., Bentler PM. (1999) Cutoff criteria for fit indexes in covariance structure analysis: Conventional criteria versus new alternatives. *Struct Equ Modeling*, 6(1):1-55.
- Hung J, Beilby JP, Knuiaman MW, Divitini M. (2003) Folate and vitamin B-12 and risk of fatal cardiovascular disease: cohort study from Busselton, Western Australia. *BMJ*, 326(7381):131.
- Hyde RJ, Witherly SA. (1993) Dynamic contrast: a sensory contribution to palatability. *Appetite*, 21(1):1-16.
- Ikehara S, Iso H, Date C, Kikuchi S, Watanabe Y, Inaba Y, et al. (2012) Salt preference and mortality from stroke and coronary heart disease for Japanese men and women: the JACC study. *Prev Med*, 54(1):32-7.
- INCa/NACRe. (2009) Nutrition et prévention des cancers : des connaissances scientifiques aux recommandations. *Expertise collective ANSES 2011 Nutrition et cancer*.
- INRA. (2014) Document directeur du metaprogramme DID'IT. Diet impact and determinants - Interactions and transitions.
- INSEE. (2015) Cinquante ans de consommation alimentaire : une croissance modérée, mais de profonds changements. Report No: 1568.
- INSEE. Definition. INSEE 2016 Available from: URL: <http://www.insee.fr/fr/bases-de-donnees/default.asp?page=recensements.htm> (accessed 21 september 2016)



- Inserm. (2014) Inégalités sociales de santé en lien avec l'alimentation et l'activité physique. Paris:ITMO Santé Publique - Aviesan.
- IPAQ Group (2005). *Guidelines for data processing and analysis of the International Physical Activity Questionnaire (IPAQ)*. [www.ipaq.ki.se](http://www.ipaq.ki.se)
- Irala-Estevez JD, Groth M, Johansson L, Oltersdorf U, Prattala R, Martinez-Gonzalez MA. (2000) A systematic review of socio-economic differences in food habits in Europe: consumption of fruit and vegetables. *Eur J Clin Nutr*, 54(9):706-14.
- Issanchou S, Nicklaus S. (2015) Sensitive periods and factors in the early formation of food preferences. *The ECOG's eBook on child and adolescent obesity*.
- Jackson RD, LaCroix AZ, Gass M, Wallace RB, Robbins J, Lewis CE, et al. (2006) Calcium plus vitamin D supplementation and the risk of fractures. *N Engl J Med*, 354(7):669-83.
- Jager G, Witkamp RF. (2014) The endocannabinoid system and appetite: relevance for food reward. *Nutr Res Rev*, 27(1):172-85.
- Jerzsa-Latta M, Kronl M, Coleman P. (1990) Use and perceived attributes of cruciferous vegetables in terms of genetically-mediated taste sensitivity. *Appetite*, 15(2):127-34.
- Jiang T, Soussignan R, Rigaud D, Martin S, Royet JP, Brondel L, et al. (2008) Alliesthesia to food cues: heterogeneity across stimuli and sensory modalities. *Physiol Behav*, 95(3):464-70.
- Joinson A. (1999) Social desirability, anonymity, and Internet-based questionnaires. *Behav Res Methods Instrum Comput*, 31(3):433-8.
- Jones SE, Fisher CJ, Greene BZ, Hertz MF, Pritzl J. (2007) Healthy and safe school environment, Part I: Results from the School Health Policies and Programs Study 2006. *J Sch Health*, 77(8):522-43.
- Jones SJ, Gonzalez W, Frongillo EA. (2010) Policies that restrict sweetened beverage availability may reduce consumption in elementary-school children. *Public Health Nutr*, 13(4):589-95.
- Joreskog KG. (1970) A general method for analysis of covariance structures. *Biometrika*, 57(2):239-51.
- Kabat-Zinn J. (2003) Mindfulness-based interventions in context: past, present, and future. *Clinical Psychology: Science and Practice*, 10:144-56.
- Kajiura H, Cowart BJ, Beauchamp GK. (1992) Early developmental change in bitter taste responses in human infants. *Dev Psychobiol*, 25(5):375-86.
- Kampov-Polevoy AB, Alterman A, Khalitov E, Garbutt JC. (2006) Sweet preference predicts mood altering effect of and impaired control over eating sweet foods. *Eat Behav*, 7(3):181-7.

- Kampov-Polevoy AB, Eick C, Boland G, Khalitov E, Crews FT. (2004) Sweet liking, novelty seeking, and gender predict alcoholic status. *Alcohol Clin Exp Res*, 28(9):1291-8.
- Kampov-Polevoy AB, Garbutt JC, Janowsky DS. (1999) Association between preference for sweets and excessive alcohol intake: a review of animal and human studies. *Alcohol Alcohol*, 34(3):386-95.
- Kampov-Polevoy AB, Tsoi MV, Zvartau EE, Neznanov NG, Khalitov E. (2001) Sweet liking and family history of alcoholism in hospitalized alcoholic and non-alcoholic patients. *Alcohol Alcohol*, 36(2):165-70.
- Kanarek RB, Ryu M, Przypek J. (1995) Preferences for foods with varying levels of salt and fat differ as a function of dietary restraint and exercise but not menstrual cycle. *Physiol Behav*, 57(5):821-6.
- Kaplan HI, Kaplan HS. (1957) The psychosomatic concept of obesity. *J Nerv Ment Dis*, 125(2):181-201.
- Karlsson J, Persson LO, Sjostrom L, Sullivan M. (2000) Psychometric properties and factor structure of the Three-Factor Eating Questionnaire (TFEQ) in obese men and women. Results from the Swedish Obese Subjects (SOS) study. *Int J Obes Relat Metab Disord*, 24(12):1715-25.
- Keskitalo K, Tuorila H, Spector TD, Cherkas LF, Knaapila A, Kaprio J, et al. (2008) The Three-Factor Eating Questionnaire, body mass index, and responses to sweet and salty fatty foods: a twin study of genetic and environmental associations. *Am J Clin Nutr*, 88(2):263-71.
- Keskitalo K, Tuorila H, Spector TD, Cherkas LF, Knaapila A, Silventoinen K, et al. (2007) Same genetic components underlie different measures of sweet taste preference. *Am J Clin Nutr*, 86(6):1663-9.
- Kesse-Guyot E, Andreeva V, Castetbon K, Vernay M, Touvier M, Mejean C, et al. (2013) Participant profiles according to recruitment source in a large Web-based prospective study: experience from the Nutrinet-Sante study. *J Med Internet Res*, 15(9):e205.
- Kim UK, Breslin PA, Reed D, Drayna D. (2004) Genetics of human taste perception. *J Dent Res*, 83(6):448-53.
- King GA, Herman CP, Polivy J. (1987) Food perception in dieters and non-dieters. *Appetite*, 8(2):147-58.
- King MF, Bruner GC. (2000) Social desirability bias : a neglected aspect of validity testing. *Psychology & Marketing*, 17(2):79-103.
- Kinnamon SC, Margolskee RF. (1996) Mechanisms of taste transduction. *Curr Opin Neurobiol*, 6(4):506-13.
- Kleifield EI, Lowe MR. (1991) Weight loss and sweetness preferences: the effects of recent versus past weight loss. *Physiol Behav*, 49(6):1037-42.

- Klok MD, Jakobsdottir S, Drent ML. (2007) The role of leptin and ghrelin in the regulation of food intake and body weight in humans: a review. *Obes Rev*, 8(1):21-34.
- Kozłowska K, Jeruszka M, Matuszewska I, Roszkowski W, Barylko-Pikielna N, Brzozowska A. (2003) Hedonic tests in different locations as predictors of apple juice consumption at home in elderly and young subjects. *Food Qual Pref*, 14:653-61.
- Krahn D, Grossman J, Henk H, Mussey M, Crosby R, Gosnell B. (2006) Sweet intake, sweet-liking, urges to eat, and weight change: relationship to alcohol dependence and abstinence. *Addict Behav*, 31(4):622-31.
- Krieger N, Williams DR, Moss NE. (1997) Measuring social class in US public health research: concepts, methodologies, and guidelines. *Annu Rev Public Health*, 18:341-78.
- Kringelbach ML, Stein A, van Hartevelt TJ. (2012) The functional human neuroanatomy of food pleasure cycles. *Physiol Behav*, 106(3):307-16.
- Lafay L, Mennen L, Basdevant A, Charles MA, Borys JM, Eschwege E, et al. (2000) Does energy intake underreporting involve all kinds of food or only specific food items? Results from the Fleurbaix Laventie Ville Sante (FLVS) study. *Int J Obes Relat Metab Disord*, 24(11):1500-6.
- Lafay LC. (2009) Etude individuelle nationale des consommations alimentaires : 2006-2007 (INCA 2). AFFSA.
- Lahteenmaki L, Tuorila H. (1995) Three-factor eating questionnaire and the use and liking of sweet and fat among dieters. *Physiol Behav*, 57(1):81-8.
- Lanfer A, Knof K, Barba G, Veidebaum T, Papoutsou S, de HS, et al. (2012) Taste preferences in association with dietary habits and weight status in European children: results from the IDEFICS study. *Int J Obes (Lond)*, 36(1):27-34.
- Lapis TJ, Penner MH, Lim J. (2014) Evidence that humans can taste glucose polymers. *Chem Senses*, 39(9):737-47.
- Lapis TJ, Penner MH, Lim J. (2016) Humans Can Taste Glucose Oligomers Independent of the hT1R2/hT1R3 Sweet Taste Receptor. *Chem Senses*.
- Larmet G. (2002) La sociabilité alimentaire s'accroît. Report No: 352/353.
- Lassale C, Castetbon K, Laporte F, Camilleri GM, Deschamps V, Vernay M, et al. (2015) Validation of a Web-based, self-administered, non-consecutive-day dietary record tool against urinary biomarkers. *Br J Nutr*, 113(6):953-62.
- Lassale C, Castetbon K, Laporte F, Deschamps V, Vernay M, Camilleri GM, et al. (2016) Correlations between Fruit, Vegetables, Fish, Vitamins, and Fatty Acids Estimated by Web-Based Nonconsecutive Dietary Records and Respective Biomarkers of Nutritional Status. *J Acad Nutr Diet*, 116(3):427-38.

- Lassale C, Peneau S, Touvier M, Julia C, Galan P, Hercberg S, et al. (2013) Validity of web-based self-reported weight and height: results of the Nutrinet-Sante study. *J Med Internet Res*, 15(8):e152.
- Le Moullec N, Deheeger M, Preziosi P, Montero P, Valeix P, Rolland-Cachera MF, et al. (1996) Validation du manuel photos utilisé pour l'enquête alimentaire de l'étude SU.VI.MAX. *Cah Nutr Diet*, 31:158-64.
- Leathwood PD, Richardson DP, Strater P, Todd PM, van Trijp HC. (2007) Consumer understanding of nutrition and health claims: sources of evidence. *Br J Nutr*, 98(3):474-84.
- Ledikwe JH, Ello-Martin J, Pelkman CL, Birch LL, Mannino ML, Rolls BJ. (2007) A reliable, valid questionnaire indicates that preference for dietary fat declines when following a reduced-fat diet. *Appetite*, 49(1):74-83.
- Lee JH, Reed DR, Li WD, Xu W, Joo EJ, Kilker RL, et al. (1999) Genome scan for human obesity and linkage to markers in 20q13. *Am J Hum Genet*, 64(1):196-209.
- Lejeune MP, Van Aggel-Leijssen DP, Van Baak MA, Westerterp-Plantenga MS. (2003) Effects of dietary restraint vs exercise during weight maintenance in obese men. *Eur J Clin Nutr*, 57(10):1338-44.
- Leong SL, Madden C, Gray A, Horwath C. (2012) Self-determined, autonomous regulation of eating behavior is related to lower body mass index in a nationwide survey of middle-aged women. *J Acad Nutr Diet*, 112(9):1337-46.
- Leshem M. (1998) Salt preference in adolescence is predicted by common prenatal and infantile mineralofluid loss. *Physiol Behav*, 63(4):699-704.
- Lindemann B. (1996) Taste reception. *Physiol Rev*, 76(3):718-66.
- Lindemann B, Ogiwara Y, Ninomiya Y. (2002) The discovery of umami. *Chem Senses*, 27(9):843-4.
- Lipsitt LP, Behl G. Taste-mediated differences in the sucking behavior of human newborns. In: Capaldi ED, Powley TTL, editors. *Taste, experience, and feeding*. Washington DC: American Psychological Association; 1990. p. 75-93.
- Lluch A, Herbeth B, Mejean L, Siest G. (2000) Dietary intakes, eating style and overweight in the Stanislas Family Study. *Int J Obes Relat Metab Disord*, 24(11):1493-9.
- Loos RJ, Rankinen T, Rice T, Rao DC, Leon AS, Skinner JS, et al. (2005) Two ethnic-specific polymorphisms in the human Agouti-related protein gene are associated with macronutrient intake. *Am J Clin Nutr*, 82(5):1097-101.
- Looy H, Callaghan S, Weingarten HP. (1992) Hedonic response of sucrose likers and dislikers to other gustatory stimuli. *Physiol Behav*, 52(2):219-25.



- Low YQ, Lacy K, Keast R. (2014) The role of sweet taste in satiation and satiety. *Nutrients*, 6(9):3431-50.
- Lowe MR, Doshi SD, Katterman SN, Feig EH. (2013) Dieting and restrained eating as prospective predictors of weight gain. *Front Psychol*, 4:577.
- Lowe MR, Feig EH, Winter SR, Stice E. (2015) Short-term variability in body weight predicts long-term weight gain. *Am J Clin Nutr*, 102(5):995-9.
- Lowe MR, Levine AS. (2005) Eating motives and the controversy over dieting: eating less than needed versus less than wanted. *Obes Res*, 13(5):797-806.
- Lucas L, Riddell L, Liem G, Whitelock S, Keast R. (2011) The influence of sodium on liking and consumption of salty food. *J Food Sci*, 76(1):S72-S76.
- Lutter M, Nestler EJ. (2009) Homeostatic and hedonic signals interact in the regulation of food intake. *J Nutr*, 139(3):629-32.
- Macht M. (2008) How emotions affect eating: a five-way model. *Appetite*, 50(1):1-11.
- Macht M, Simons G. (2000) Emotions and eating in everyday life. *Appetite*, 35(1):65-71.
- Malcolm R, O'Neil PM, Hirsch AA, Currey HS, Moskowitz G. (1980) Taste hedonics and thresholds in obesity. *Int J Obes*, 4(3):203-12.
- Malon A, Deschamps V, Salanave B, Vernay M, Szego E, Estaquio C, et al. (2010) Compliance with French nutrition and health program recommendations is strongly associated with socioeconomic characteristics in the general adult population. *J Am Diet Assoc*, 110(6):848-56.
- Matsushita Y, Mizoue T, Takahashi Y, Isogawa A, Kato M, Inoue M, et al. (2009) Taste preferences and body weight change in Japanese adults: the JPHC Study. *Int J Obes (Lond)*, 33(10):1191-7.
- Mattes R, Labov J. (1989) Bitter taste responses to phenylthiocarbamide are not related to dietary goitrogen intake in human beings. *J Am Diet Assoc*, 89(5):692-4.
- Mattes RD. (1993) Fat preference and adherence to a reduced-fat diet. *Am J Clin Nutr*, 57(3):373-81.
- Mattes RD. (1997) Physiologic responses to sensory stimulation by food: nutritional implications. *J Am Diet Assoc*, 97(4):406-13.
- Mattes RD. (2002) Feeding behaviors and weight loss outcomes over 64 months. *Eat Behav*, 3(2):191-204.
- Mattes RD. (2005) Fat taste and lipid metabolism in humans. *Physiol Behav*, 86(5):691-7.
- Mattes RD. (2011) Accumulating evidence supports a taste component for free fatty acids in humans. *Physiol Behav*, 104(4):624-31.

- Maurer J, Taren DL, Teixeira PJ, Thomson CA, Lohman TG, Going SB, et al. (2006) The psychosocial and behavioral characteristics related to energy misreporting. *Nutr Rev*, 64(2 Pt 1):53-66.
- Mazza M, Pomponi M, Janiri L, Bria P, Mazza S. (2007) Omega-3 fatty acids and antioxidants in neurological and psychiatric diseases: an overview. *Prog Neuropsychopharmacol Biol Psychiatry*, 31(1):12-26.
- McDaniel MR. Off-flavors of human milk. In: Charalambous G, editor. *The analysis and control of less desirable flavors in foods and beverages*. New York: Academic press; 1980. p. 267-91.
- McGinnis GR, Young ME. (2016) Circadian regulation of metabolic homeostasis: causes and consequences. *Nat Sci Sleep*, 8:163-80.
- McKinnon RA, Reedy J, Morrissette MA, Lytle LA, Yaroch AL. (2009) Measures of the food environment: a compilation of the literature, 1990-2007. *Am J Prev Med*, 36(4 Suppl):S124-S133.
- Meilgaard M, Civille GV, Thomas Carr B. *Sensory evaluation techniques* (1999) Third ed. Boca Raton: CRC Press.
- Meiselman HL. (1992) Methodology and theory in human eating research. *Appetite*, 19(1):49-55.
- Mejean C. *Relationships between liking for fat, salt and sweet, dietary intake and weight status. Modulation by sociodemographic, economic, psychological, lifestyle and health characteristics*. 2015.
- Ref Type: Personal Communication
- Mejean C, Deglaire A, Kesse-Guyot E, Hercberg S, Schlich P, Castetbon K. (2014a) Association between intake of nutrients and food groups and liking for fat (The Nutrinet-Sante Study). *Appetite*, 78:147-55.
- Mejean C, Droomers M, van der Schouw YT, Sluijs I, Czernichow S, Grobbee DE, et al. (2013) The contribution of diet and lifestyle to socioeconomic inequalities in cardiovascular morbidity and mortality. *Int J Cardiol*, 168(6):5190-5.
- Mejean C, Macouillard P, Castetbon K, Kesse-Guyot E, Hercberg S. (2011) Socio-economic, demographic, lifestyle and health characteristics associated with consumption of fatty-sweetened and fatty-salted foods in middle-aged French adults. *Br J Nutr*, 105(5):776-86.
- Mejean C, Si HW, Lecossais C, Alles B, Peneau S, Hercberg S, et al. (2016) Socio-economic indicators are independently associated with intake of animal foods in French adults. *Public Health Nutr*, 1-12.
- Mejean C, Szabo de EF, Touvier M, Kesse-Guyot E, Julia C, Andreeva VA, et al. (2014b) Motives for participating in a web-based nutrition cohort according to

- sociodemographic, lifestyle, and health characteristics: the NutriNet-Sante cohort study. *J Med Internet Res*, 16(8):e189.
- Mela DJ. (1990) Sensory preferences for fats: what, who, why? *Food Quality and Preference*, 2:95-101.
- Mela DJ. (1995) Understanding fat preference and consumption: applications of behavioural sciences to a nutritional problem. *Proc Nutr Soc*, 54(2):453-64.
- Mela DJ. (1996) Eating behaviour, food preferences and dietary intake in relation to obesity and body-weight status. *Proc Nutr Soc*, 55(3):803-16.
- Mela DJ. (2001) Why do we like what we like? *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 81(1):10-6.
- Mela DJ. (2006) Eating for pleasure or just wanting to eat? Reconsidering sensory hedonic responses as a driver of obesity. *Appetite*, 47(1):10-7.
- Mela DJ, Marshall RJ. Sensory properties and perceptions of fats. In: Mela DJ, editor. *Dietary fats: determinants of preference, selection and consumption*. New-York: Elsevier Applied Science; 1991a. p. 27-41.
- Mela DJ, Sacchetti DA. (1991b) Sensory preferences for fats: relationships with diet and body composition. *Am J Clin Nutr*, 53(4):908-15.
- Mellen PB, Walsh TF, Herrington DM. (2008) Whole grain intake and cardiovascular disease: a meta-analysis. *Nutr Metab Cardiovasc Dis*, 18(4):283-90.
- Mennella JA, Finkbeiner S, Lipchock SV, Hwang LD, Reed DR. (2014) Preferences for salty and sweet tastes are elevated and related to each other during childhood. *PLoS One*, 9(3):e92201.
- Mennella JA, Pepino MY, Reed DR. (2005) Genetic and environmental determinants of bitter perception and sweet preferences. *Pediatrics*, 115(2):e216-e222.
- Michaud CG. (1997) L'enfant et la nutrition : croyances, connaissances et comportements. *Cahiers de Nutrition et de Diététique*, 32(1):49-56.
- Mitchell BD, Rainwater DL, Hsueh WC, Kennedy AJ, Stern MP, Maccluer JW. (2003) Familial aggregation of nutrient intake and physical activity: results from the San Antonio Family Heart Study. *Ann Epidemiol*, 13(2):128-35.
- Mizushige T, Inoue K, Fushiki T. (2007) Why is fat so tasty? Chemical reception of fatty acid on the tongue. *J Nutr Sci Vitaminol (Tokyo)*, 53(1):1-4.
- Mizuta E, Kokubo Y, Yamanaka I, Miyamoto Y, Okayama A, Yoshimasa Y, et al. (2008) Leptin gene and leptin receptor gene polymorphisms are associated with sweet preference and obesity. *Hypertens Res*, 31(6):1069-77.

- Mojet J, Christ-Hazelhof E, Heidema J. (2005) Taste perception with age: pleasantness and its relationships with threshold sensitivity and supra-threshold intensity of five taste qualities. *Food Quality and Preference*, 16(5):413-23.
- Mojet J, Heidema J, Christ-Hazelhof E. (2003) Taste perception with age: generic or specific losses in supra-threshold intensities of five taste qualities? *Chem Senses*, 28(5):397-413.
- Monnery-Patris S, Rigal N, Chabanet C, Boggio V, Lange C, Cassuto DA, et al. (2011) Parental practices perceived by children using a French version of the Kids' Child Feeding Questionnaire. *Appetite*, 57(1):161-6.
- Monteiro CA, Moubarac JC, Cannon G, Ng SW, Popkin B. (2013) Ultra-processed products are becoming dominant in the global food system. *Obes Rev*, 14 Suppl 2:21-8.
- Morton GJ, Cummings DE, Baskin DG, Barsh GS, Schwartz MW. (2006) Central nervous system control of food intake and body weight. *Nature*, 443(7109):289-95.
- Moshfegh AJ, Rhodes DG, Baer DJ, Murayi T, Clemens JC, Rumpler WV, et al. (2008) The US Department of Agriculture Automated Multiple-Pass Method reduces bias in the collection of energy intakes. *Am J Clin Nutr*, 88(2):324-32.
- Mossavar-Rahmani Y, Tinker LF, Huang Y, Neuhouser ML, McCann SE, Seguin RA, et al. (2013) Factors relating to eating style, social desirability, body image and eating meals at home increase the precision of calibration equations correcting self-report measures of diet using recovery biomarkers: findings from the Women's Health Initiative. *Nutr J*, 12:63.
- Mozaffarian D, Hao T, Rimm EB, Willett WC, Hu FB. (2011a) Changes in diet and lifestyle and long-term weight gain in women and men. *N Engl J Med*, 364(25):2392-404.
- Mozaffarian D, Wu JH. (2011b) Omega-3 fatty acids and cardiovascular disease: effects on risk factors, molecular pathways, and clinical events. *J Am Coll Cardiol*, 58(20):2047-67.
- Nagata C, Sugiyama C, Shimizu H. (1998) Nutrient intakes in relation to style of breakfast and taste preferences. *J Epidemiol*, 9(2):91-8.
- Nakamura K, Shimai S, Kikuchi S, Tanaka M. (2001) Correlation between a liking for fat-rich foods and body fatness in adult Japanese: a gender difference. *Appetite*, 36(1):1-7.
- Nasser J. (2001) Taste, food intake and obesity. *Obes Rev*, 2(4):213-8.
- Neale BM, Mazzeo SE, Bulik CM. (2003) A twin study of dietary restraint, disinhibition and hunger: an examination of the eating inventory (three factor eating questionnaire). *Twin Res*, 6(6):471-8.
- Neslin SA, van Heerde HJ. *Promotion dynamics* (2009) Hanover, USA: Now publishers.



- Nesse RM, Berridge KC. (1997) Psychoactive drug use in evolutionary perspective. *Science*, 278(5335):63-6.
- Nicklaus S, Boggio V, Chabanet C, Issanchou S. (2004) A prospective study of food preferences in childhood. *Food Quality and Preference*, 15(7):805-18.
- Nicklaus S. (2009) Development of food variety in children. *Appetite*, 52(1):253-5.
- Nicklaus S, Boggio V, Chabanet C, Issanchou S. (2005a) A prospective study of food variety seeking in childhood, adolescence and early adult life. *Appetite*, 44(3):289-97.
- Nicklaus S, Boggio V, Issanchou S. (2005b) [Gustatory perceptions in children]. *Arch Pediatr*, 12(5):579-84.
- Nicklaus S, Chabanet C, Boggio V, Issanchou S. (2005c) Food choices at lunch during the third year of life: increase in energy intake but decrease in variety. *Acta Paediatr*, 94(8):1023-9.
- Nohr EA, Frydenberg M, Henriksen TB, Olsen J. (2006) Does low participation in cohort studies induce bias? *Epidemiology*, 17(4):413-8.
- O'Doherty JK, Holm L. (1999) Preferences, quantities and concerns: socio-cultural perspectives on the gendered consumption of foods. *Eur J Clin Nutr*, 53(5):351-9.
- Olea Lopez AL, Johnson L. (2016) Associations between Restrained Eating and the Size and Frequency of Overall Intake, Meal, Snack and Drink Occasions in the UK Adult National Diet and Nutrition Survey. *PLoS One*, 11(5):e0156320.
- Ovaskainen ML, Tapanainen H, Laatikainen T, Mannisto S, Heinonen H, Vartiainen E. (2015) Perceived health-related self-efficacy associated with BMI in adults in a population-based survey. *Scand J Public Health*, 43(2):197-203.
- Paddon-Jones D, Rasmussen BB. (2009) Dietary protein recommendations and the prevention of sarcopenia. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care*, 12(1):86-90.
- Paddon-Jones D, Short KR, Campbell WW, Volpi E, Wolfe RR. (2008) Role of dietary protein in the sarcopenia of aging. *Am J Clin Nutr*, 87(5):1562S-6S.
- Pal GK, Adithan C, Dutta TK, Pal P, Nanda N, Syamsundara Kiran AN, et al. (2013) Preference for salt contributes to sympathovagal imbalance in the genesis of prehypertension. *Eur J Clin Nutr*, 67(6):586-91.
- Palmeira AL, Branco TL, Martins SC, Minderico CS, Silva MN, Vieira PN, et al. (2010) Change in body image and psychological well-being during behavioral obesity treatment: Associations with weight loss and maintenance. *Body Image*, 7(3):187-93.
- Pangborn RM, Pecore SD. (1982) Taste perception of sodium chloride in relation to dietary intake of salt. *Am J Clin Nutr*, 35(3):510-20.

- Pepino MY, Finkbeiner S, Beauchamp GK, Mennella JA. (2010) Obese women have lower monosodium glutamate taste sensitivity and prefer higher concentrations than do normal-weight women. *Obesity (Silver Spring)*, 18(5):959-65.
- Pepino MY, Mennella JA. Children's liking of sweet tastes and its biological basis. In: Spillane WJ, editor. *Optimising sweet taste in foods*. Cambridge: Wooghead Publishing Limited; 2006.
- Pepino MY, Mennella JA. (2007) Effects of cigarette smoking and family history of alcoholism on sweet taste perception and food cravings in women. *Alcohol Clin Exp Res*, 31(11):1891-9.
- Perkins KA, Epstein LH, Stiller RL, Fernstrom MH, Sexton JE, Jacob RG. (1990) Perception and hedonics of sweet and fat taste in smokers and nonsmokers following nicotine intake. *Pharmacol Biochem Behav*, 35(3):671-6.
- Perrin MJ, Krut L.H., Bronte-Sewart B. (1961) Smoking and food preferences. *Br Med J*, 1(5223):387-8.
- Perusse L, Tremblay A, LeBlanc C, Cloninger CR, Reich T, Rice J, et al. (1988) Familial resemblance in energy intake: contribution of genetic and environmental factors. *Am J Clin Nutr*, 47(4):629-35.
- Piovesana PM, Sampaio KL, Gallani MC. (2013) Association between Taste Sensitivity and Self-Reported and Objective Measures of Salt Intake among Hypertensive and Normotensive Individuals. *ISRN Nutr*, 2013:301213.
- Pomerleau CS, Garcia AW, Drewnowski A, Pomerleau OF. (1991) Sweet taste preference in women smokers: comparison with nonsmokers and effects of menstrual phase and nicotine abstinence. *Pharmacol Biochem Behav*, 40(4):995-9.
- Popkin BM, Duffey K, Gordon-Larsen P. (2005) Environmental influences on food choice, physical activity and energy balance. *Physiol Behav*, 86(5):603-13.
- Provencher V, Perusse L, Bouchard L, Drapeau V, Bouchard C, Rice T, et al. (2005) Familial resemblance in eating behaviors in men and women from the Quebec Family Study. *Obes Res*, 13(9):1624-9.
- Rappoport L, Peters GR, Downey R, McCann T, Huff-Corzine L. (1993) Gender and age differences in food cognition. *Appetite*, 20(1):33-52.
- Raynor HA, Polley BA, Wing RR, Jeffery RW. (2004) Is dietary fat intake related to liking or household availability of high- and low-fat foods? *Obes Res*, 12(5):816-23.
- Recours F. (2007) Evolution des comportements alimentaires : le rôle des générations. Report No: 82-83.
- Richards TJ, Padilla L. (2009) Promotion and Fast Food Demand. *American Journal of Agricultural Economics*, 91(1):168-83.

- Ricketts CD. (1997) Fat preferences, dietary fat intake and body composition in children. *Eur J Clin Nutr*, 51(11):778-81.
- Rogers PJ, Hardman CA. (2015) Food reward. What it is and how to measure it. *Appetite*, 90:1-15.
- Rokholm B, Baker JL, Sorensen TI. (2010) The levelling off of the obesity epidemic since the year 1999--a review of evidence and perspectives. *Obes Rev*, 11(12):835-46.
- Rolls BJ. (1986) Sensory-specific satiety. *Nutr Rev*, 44(3):93-101.
- Rolls ET. (2007) Understanding the mechanisms of food intake and obesity. *Obes Rev*, 8 Suppl 1:67-72.
- Rolls ET. (2012) Taste, olfactory and food texture reward processing in the brain and the control of appetite. *Proc Nutr Soc*, 71(4):488-501.
- Rosseel Y. (2012) lavaan: An R package for Structural Equation Modeling. *Journal of Statistical Software*, 48(2):1-36.
- Rothman KJ. (2008) BMI-related errors in the measurement of obesity. *Int J Obes (Lond)*, 32 Suppl 3:S56-S59.
- Rozin P. (1990) Acquisition of stable food preferences. *Nutr Rev*, 48(2):106-13.
- Rutishauser IH. (2005) Dietary intake measurements. *Public Health Nutr*, 8(7A):1100-7.
- Salbe AD, DelParigi A, Pratley RE, Drewnowski A, Tataranni PA. (2004) Taste preferences and body weight changes in an obesity-prone population. *Am J Clin Nutr*, 79(3):372-8.
- Sandstrom KA, Rajan TM, Feinn R, Kranzler HR. (2003) Salty and sour taste characteristics and risk of alcoholism. *Alcohol Clin Exp Res*, 27(6):955-61.
- Saremi A, Arora R. (2010) Vitamin E and cardiovascular disease. *Am J Ther*, 17(3):e56-e65.
- Savage JS, Hoffman L, Birch LL. (2009) Dieting, restraint, and disinhibition predict women's weight change over 6 y. *Am J Clin Nutr*, 90(1):33-40.
- Schaal B, Marlier L, Soussignan R. (2000) Human fetuses learn odours from their pregnant mother's diet. *Chem Senses*, 25(6):729-37.
- Schachter S, Gross LP. (1968) Manipulated time and eating behavior. *J Pers Soc Psychol*, 10(2):98-106.
- Schatzkin A, Kipnis V, Carroll RJ, Midthune D, Subar AF, Bingham S, et al. (2003) A comparison of a food frequency questionnaire with a 24-hour recall for use in an epidemiological cohort study: results from the biomarker-based Observing Protein and Energy Nutrition (OPEN) study. *Int J Epidemiol*, 32(6):1054-62.

- Schaumberg K, Anderson DA, Anderson LM, Reilly EE, Gorrell S. (2016) Dietary restraint: what's the harm? A review of the relationship between dietary restraint, weight trajectory and the development of eating pathology. *Clin Obes*, 6(2):89-100.
- Schofield WN. (1985) Predicting basal metabolic rate, new standards and review of previous work. *Hum Nutr Clin Nutr*, 39 Suppl 1:5-41.
- Schwartz C, Chabanet C, Boggio V, Lange C, Issanchou S, Nicklaus S. (2010) [To which tastes are infants exposed during the first year of life?]. *Arch Pediatr*, 17(7):1026-34.
- Schwartz C, Issanchou S, Nicklaus S. (2009) Developmental changes in the acceptance of the five basic tastes in the first year of life. *Br J Nutr*, 102(9):1375-85.
- Schwartz C, Scholtens PA, Lalanne A, Weenen H, Nicklaus S. (2011) Development of healthy eating habits early in life. Review of recent evidence and selected guidelines. *Appetite*, 57(3):796-807.
- Scuteri A, Sanna S, Chen WM, Uda M, Albai G, Strait J, et al. (2007) Genome-wide association scan shows genetic variants in the FTO gene are associated with obesity-related traits. *PLoS Genet*, 3(7):e115.
- Shepherd R. (1988) Sensory influences on salt, sugar and fat intake. *Nutr Res Rev*, 1(1):125-44.
- Shepherd R, Farleigh CA, Wharf SG. (1987) Preference for salt in different foods and their relationship to availability of sodium. *Human Nutrition: Food sciences and Nutrition*, 41F:173-81.
- Simons CT, Boucher Y, Carstens MI, Carstens E. (2006) Nicotine suppression of gustatory responses of neurons in the nucleus of the solitary tract. *J Neurophysiol*, 96(4):1877-86.
- Small DM, Prescott J. (2005) Odor/taste integration and the perception of flavor. *Exp Brain Res*, 166(3-4):345-57.
- Smith CF, Williamson DA, Bray GA, Ryan DH. (1999) Flexible vs. Rigid dieting strategies: relationship with adverse behavioral outcomes. *Appetite*, 32(3):295-305.
- Soler LG. Publicité et comportements alimentaires. *Inégalités sociales de santé en lien avec l'alimentation et l'activité physique - Expertise collective*. Inserm ed. Paris: ITMO Santé Publique - Aviesan; 2014. p. 387-98.
- Sorensen LB, Moller P, Flint A, Martens M, Raben A. (2003) Effect of sensory perception of foods on appetite and food intake: a review of studies on humans. *Int J Obes Relat Metab Disord*, 27(10):1152-66.
- Spiegel TA, Shrager EE, Stellar E. (1989) Responses of lean and obese subjects to preloads, deprivation, and palatability. *Appetite*, 13(1):45-69.



- Spronk I, Kullen C, Burdon C, O'Connor H. (2014) Relationship between nutrition knowledge and dietary intake. *Br J Nutr*, 111(10):1713-26.
- Srinath RK, Katan MB. (2004) Diet, nutrition and the prevention of hypertension and cardiovascular diseases. *Public Health Nutr*, 7(1A):167-86.
- Stein LJ, Cowart BJ, Epstein AN, Pilot LJ, Laskin CR, Beauchamp GK. (1996) Increased liking for salty foods in adolescents exposed during infancy to a chloride-deficient feeding formula. *Appetite*, 27(1):65-77.
- Steinle NI, Hsueh WC, Snitker S, Pollin TI, Sakul H, St Jean PL, et al. (2002) Eating behavior in the Old Order Amish: heritability analysis and a genome-wide linkage analysis. *Am J Clin Nutr*, 75(6):1098-106.
- Stevens DA. (1996) Individual differences in taste perception. *Food Chemistry*, 56(3):303-11.
- Stewart JE, Feinle-Bisset C, Golding M, Delahunty C, Clifton PM, Keast RS. (2010) Oral sensitivity to fatty acids, food consumption and BMI in human subjects. *Br J Nutr*, 104(1):145-52.
- Stewart JE, Keast RS. (2012) Recent fat intake modulates fat taste sensitivity in lean and overweight subjects. *Int J Obes (Lond)*, 36(6):834-42.
- Stroebe W, Papies EK, Aarts H. (2008) From homeostatic to hedonic theories of eating: self-regulatory failure in food-rich environments. *Applied Psychology*, 57:172-93.
- Stunkard AJ, Messick S. (1985) The three-factor eating questionnaire to measure dietary restraint, disinhibition and hunger. *J Psychosom Res*, 29(1):71-83.
- Stunkard AJ, Sorensen T, Schulsinger F. (1983) Use of the Danish Adoption Register for the study of obesity and thinness. *Res Publ Assoc Res Nerv Ment Dis*, 60:115-20.
- Tanaka T, Ngwa JS, van Rooij FJ, Zillikens MC, Wojczynski MK, Frazier-Wood AC, et al. (2013) Genome-wide meta-analysis of observational studies shows common genetic variants associated with macronutrient intake. *Am J Clin Nutr*, 97(6):1395-402.
- Tang BM, Eslick GD, Nowson C, Smith C, Bensoussan A. (2007) Use of calcium or calcium in combination with vitamin D supplementation to prevent fractures and bone loss in people aged 50 years and older: a meta-analysis. *Lancet*, 370(9588):657-66.
- Teixeira PJ, Carraca EV, Marques MM, Rutter H, Oppert JM, De B, I, et al. (2015) Successful behavior change in obesity interventions in adults: a systematic review of self-regulation mediators. *BMC Med*, 13:84.
- Teixeira PJ, Silva MN, Coutinho SR, Palmeira AL, Mata J, Vieira PN, et al. (2010) Mediators of weight loss and weight loss maintenance in middle-aged women. *Obesity (Silver Spring)*, 18(4):725-35.
- Tepper BJ. (2008) Nutritional implications of genetic taste variation: the role of PROP sensitivity and other taste phenotypes. *Annu Rev Nutr*, 28:367-88.

- Tepper BJ, Banni S, Melis M, Crnjar R, Tomassini B, I. (2014) Genetic sensitivity to the bitter taste of 6-n-propylthiouracil (PROP) and its association with physiological mechanisms controlling body mass index (BMI). *Nutrients*, 6(9):3363-81.
- Tepper BJ, Hartfiel LM, Schneider SH. (1996) Sweet taste and diet in type II diabetes. *Physiol Behav*, 60(1):13-8.
- Tepper BJ, Nurse RJ. (1997) Fat perception is related to PROP taster status. *Physiol Behav*, 61(6):949-54.
- Tholin S, Rasmussen F, Tynelius P, Karlsson J. (2005) Genetic and environmental influences on eating behavior: the Swedish Young Male Twins Study. *Am J Clin Nutr*, 81(3):564-9.
- Thompson DA, Moskowitz HR, Campbell RG. (1977) Taste and olfaction in human obesity. *Physiol Behav*, 19(2):335-7.
- Tome-Carneiro J, Visioli F. (2016) Polyphenol-based nutraceuticals for the prevention and treatment of cardiovascular disease: Review of human evidence. *Phytomedicine*, 23(11):1145-74.
- Ton Nu C, MacLeod P, Barthelemy J. (1996) Effects of age and gender on adolescents' food habits and preferences. *Food Qual Pref*, 7:251-62.
- Tooze JA, Subar AF, Thompson FE, Troiano R, Schatzkin A, Kipnis V. (2004) Psychosocial predictors of energy underreporting in a large doubly labeled water study. *Am J Clin Nutr*, 79(5):795-804.
- Tournois J, Mesnil F, Kop J. (2000) Autoduperie et hétéroduperie : un instrument de mesure de la désirabilité sociale. *European Review of Applied Psychology*, 50(1):219-33.
- Touvier M, Kesse-Guyot E, Mejean C, Pollet C, Malon A, Castetbon K, et al. (2011) Comparison between an interactive web-based self-administered 24 h dietary record and an interview by a dietitian for large-scale epidemiological studies. *Br J Nutr*, 105(7):1055-64.
- Touvier M, Mejean C, Kesse-Guyot E, Pollet C, Malon A, Castetbon K, et al. (2010) Comparison between web-based and paper versions of a self-administered anthropometric questionnaire. *Eur J Epidemiol*, 25(5):287-96.
- Tresserra-Rimbau A, Rimm EB, Medina-Remon A, Martinez-Gonzalez MA, Lopez-Sabater MC, Covas MI, et al. (2014) Polyphenol intake and mortality risk: a re-analysis of the PREDIMED trial. *BMC Med*, 12:77.
- Tribole E, Resh E. *Intuitive Eating: A revolutionary program that works* (1995) New-York:
- Tuorila H, Kramer FM, Engell D. (2001) The choice of fat-free vs. regular-fat fudge: the effects of liking for the alternative and the restraint status. *Appetite*, 37(1):27-32.

- Urbano C, Deglaire A, Cartier-Lange E, Herbreteau V, Cordelle S, Schlich P. (2016) Development of a sensory tool to assess overall liking for fatty, salty and sweet sensations. *Food Qual Pref*, 48:23-32.
- USEN. (2007) Etude Nationale Nutrition Santé ENNS, 2006. Situation nutritionnelle en France en 2006 selon les indicateurs d'objectif et les repères du Programme National Nutrition Santé (PNNS).
- Ventura AK, Mennella JA. (2011) Innate and learned preferences for sweet taste during childhood. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care*, 14(4):379-84.
- Ventura AK, Worobey J. (2013) Early influences on the development of food preferences. *Curr Biol*, 23(9):R401-R408.
- Verd S, Nadal-Amat J, Gich I, Leshem M. (2010) Salt preference of nursing mothers is associated with earlier cessation of exclusive breastfeeding. *Appetite*, 54(1):233-6.
- Vergnaud AC, Bertrais S, Oppert JM, Maillard-Teyssier L, Galan P, Hercberg S, et al. (2008) Weight fluctuations and risk for metabolic syndrome in an adult cohort. *Int J Obes (Lond)*, 32(2):315-21.
- Verma P, Mahajan KK, Mittal S, Ghildiyal A. (2005) Salt preference across different phases of menstrual cycle. *Indian J Physiol Pharmacol*, 49(1):99-102.
- Verma P, Mittal S, Ghildiyal A, Chaudhary L, Mahajan KK. (2007) Salt preference: age and sex related variability. *Indian J Physiol Pharmacol*, 51(1):91-5.
- Wallis DJ, Hetherington MM. (2004) Stress and eating: the effects of ego-threat and cognitive demand on food intake in restrained and emotional eaters. *Appetite*, 43(1):39-46.
- Wansink B. (2004) Environmental factors that increase the food intake and consumption volume of unknowing consumers. *Annu Rev Nutr*, 24:455-79.
- Wansink B, Cheney MM, Chan N. (2003) Exploring comfort food preferences across age and gender. *Physiol Behav*, 79(4-5):739-47.
- Wansink B, Payne CR. (2007) Counting bones: environmental cues that decrease food intake. *Percept Mot Skills*, 104(1):273-6.
- Wardle J. (1993) Food choices and health evaluation. *Psychology & Health*, 8(1):65-75.
- Wardle J, Carnell S, Haworth CM, Farooqi IS, O'Rahilly S, Plomin R. (2008) Obesity associated genetic variation in FTO is associated with diminished satiety. *J Clin Endocrinol Metab*, 93(9):3640-3.
- Wardle J, Haase AM, Steptoe A, Nillapun M, Jonwutiwes K, Bellisle F. (2004) Gender differences in food choice: the contribution of health beliefs and dieting. *Ann Behav Med*, 27(2):107-16.

- Wardle J, Herrera ML, Cooke L, Gibson EL. (2003) Modifying children's food preferences: the effects of exposure and reward on acceptance of an unfamiliar vegetable. *Eur J Clin Nutr*, 57(2):341-8.
- Westenhoefer J. (1991) Dietary restraint and disinhibition: is restraint a homogeneous construct? *Appetite*, 16(1):45-55.
- Westenhoefer J. (2001) The therapeutic challenge: behavioral changes for long-term weight maintenance. *Int J Obes Relat Metab Disord*, 25 Suppl 1:S85-S88.
- Westenhoefer J, Engel D, Holst C, Lorenz J, Peacock M, Stubbs J, et al. (2013) Cognitive and weight-related correlates of flexible and rigid restrained eating behaviour. *Eat Behav*, 14(1):69-72.
- Westenhoefer J, Stunkard AJ, Pudel V. (1999) Validation of the flexible and rigid control dimensions of dietary restraint. *Int J Eat Disord*, 26(1):53-64.
- Willett W. *Nutritional epidemiology* (2012) Third ed. Oxford University Press.
- Williams P. (2005) Consumer understanding and use of health claims for foods. *Nutr Rev*, 63(7):256-64.
- Wooding S, Kim UK, Bamshad MJ, Larsen J, Jorde LB, Drayna D. (2004) Natural selection and molecular evolution in PTC, a bitter-taste receptor gene. *Am J Hum Genet*, 74(4):637-46.
- Wooley SC. (1972) Physiologic versus cognitive factors in short term food regulation in the obese and nonobese. *Psychosom Med*, 34(1):62-8.
- World Cancer Research Fund / American Institute for Cancer Research. *Food, Nutrition, Physical Activity and the Prevention of Cancer: a global perspective* (2007) Washington, DC: AICR.
- World Health Organization. (2000) Obesity: preventing and managing the global epidemic. Report of a WHO consultation. Geneva: *World Health Organization*; Report No: 894.
- World Health Organization. (2003) Diet, Nutrition and the Prevention of Chronic Diseases. Joint WHO/FAO Expert Consultation. Geneva: *WHO*; Report No: 916.
- World Health Organization. (2014) Global status report of noncommunicable diseases. Switzerland: *WHO*.
- Yau YH, Potenza MN. (2013) Stress and eating behaviors. *Minerva Endocrinol*, 38(3):255-67.
- Yeomans MR, Blundell JE, Leshem M. (2004) Palatability: response to nutritional need or need-free stimulation of appetite? *Br J Nutr*, 92, Suppl 1:S3-14.



- Yeomans MR, Leitch M, Mobini S. (2008) Impulsivity is associated with the disinhibition but not restraint factor from the Three Factor Eating Questionnaire. *Appetite*, 50(2-3):469-76.
- Yeomans MR, Symes T. (1999) Individual differences in the use of pleasantness and palatability ratings. *Appetite*, 32(3):383-94.
- Zallen EM, Hooks LB, O'Brien K. (1990) Salt taste preferences and perceptions of elderly and young adults. *J Am Diet Assoc*, 90(7):947-50.
- Zenk SN, Schulz AJ, Matthews SA, Odoms-Young A, Wilbur J, Wegrzyn L, et al. (2011) Activity space environment and dietary and physical activity behaviors: a pilot study. *Health Place*, 17(5):1150-61.
- Zhang Z, Zhang X. (2011) Salt taste preference, sodium intake and gastric cancer in China. *Asian Pac J Cancer Prev*, 12(5):1207-10.

# Liste des annexes

---

**Annexe 1** : Questionnaire mesurant l'attraction sensorielle pour le gras, le sale et le sucré (PrefQuest)

**Annexe 2** : Questionnaire mesurant la restriction cognitive, l'alimentation incontrôlée et l'émotivité alimentaire (Three Factor Eating Questionnaire R-21)

**Annexe 3** : Questionnaire mesurant la désirabilité sociale (DS 36)

## Annexe 1

### Questionnaire mesurant l'attrance sensorielle pour le gras, le sale et le sucré (PrefQuest)

<p>1 - Introduction 2 - Régime alimentaire 3 - État physiologique 4 - Partie I-0 5 - Partie I-1 6 - Partie I-2 7 - Partie I-3 8 - Partie I-4 9 - Partie I-5 10 - Partie II-0 11 - Partie II-1 12 - Partie II-2 13 - Partie II-3 14 - Partie II-4 15 - Partie II-5 16 - Partie III-0 17 - Partie III-1 18 - Partie IV-1 19 - Partie IV-2 20 - Partie IV-3 21 - Partie IV-4 22 - Anthropométrie 23 - Commentaires</p>	<p>Ce questionnaire porte sur vos <b>préférences alimentaires</b>, c'est-à-dire sur <b>vos goûts</b> en matière d'alimentation. Ce questionnaire est composé de 4 parties :</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Partie I : nous vous posons des questions sur votre degré d'attrance envers divers aliments</li><li>• Partie II : nous vous interrogeons sur la façon dont vous préférez consommer les aliments</li><li>• Partie III : nous vous demandons de choisir vos boissons préférées dans un menu</li><li>• Partie IV : nous vous posons des questions sur vos comportements alimentaires</li></ul> <p>Bien évidemment, ce questionnaire n'a aucun but commercial mais s'inscrit dans le cadre d'un <b>programme de recherche en santé publique</b> qui vise à mieux <b>comprendre les comportements alimentaires</b> en étudiant le lien entre les consommations alimentaires et les préférences déclarées.</p> <p style="text-align: right;"><a href="#">Suite</a> ▶</p>
---	--

<p>1 - Introduction 2 - Régime alimentaire 3 - État physiologique 4 - Partie I-0 5 - Partie I-1 6 - Partie I-2 7 - Partie I-3 8 - Partie I-4 9 - Partie I-5 10 - Partie II-0 11 - Partie II-1 12 - Partie II-2 13 - Partie II-3 14 - Partie II-4 15 - Partie II-5 16 - Partie III-0 17 - Partie III-1 18 - Partie IV-1 19 - Partie IV-2 20 - Partie IV-3 21 - Partie IV-4 22 - Anthropométrie 23 - Commentaires</p>	<p>Régime alimentaire</p> <hr/> <p>Excluez-vous volontairement certains aliments de votre alimentation ?</p> <p><input checked="" type="radio"/> Oui <input type="radio"/> Non</p> <p>Pourquoi ?</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Je suis végétarien(ne) <input type="checkbox"/> Je suis végétalien(ne) <input type="checkbox"/> Par conviction religieuse <input type="checkbox"/> Par conviction personnelle <input type="checkbox"/> Pour des raisons de santé <input checked="" type="checkbox"/> Par goût <input type="checkbox"/> Autre</p> <p>Citez-nous les principaux aliments que vous excluez de votre alimentation (ex: porc, laitage, ...):</p> <input type="text"/> <p style="text-align: center;"><a href="#">◀ Précédent</a>   <a href="#">Suite ▶</a></p>
---	---

- 1 - Introduction
- 2 - Régime alimentaire
- 3 - État physiologique
- 4 - Partie I-0
- 5 - Partie I-1
- 6 - Partie I-2
- 7 - Partie I-3
- 8 - Partie I-4
- 9 - Partie I-5
- 10 - Partie II-0
- 11 - Partie II-1
- 12 - Partie II-2
- 13 - Partie II-3
- 14 - Partie II-4
- 15 - Partie II-5
- 16 - Partie III-0
- 17 - Partie III-1
- 18 - Partie IV-1
- 19 - Partie IV-2
- 20 - Partie IV-3
- 21 - Partie IV-4
- 22 - Anthropométrie
- 23 - Commentaires

### État physiologique

A l'instant présent, quelle est votre envie de dormir ?

Pas du tout envie (-)           Très envie (+)

A l'instant présent, quelle est votre faim ?

Pas du tout faim (-)           Très faim (+)

A l'instant présent, quelle est votre envie de pratiquer une activité physique ?

Pas du tout envie (-)           Très envie (+)

A l'instant présent, quelle est votre niveau de stress ?

Pas du tout stressé(e) (-)           Très stressé(e) (+)

A l'instant présent, quelle est votre humeur ?

Très mauvaise humeur (-)           Très bonne humeur (+)

A quand remonte votre dernière prise alimentaire (repas, encas, grignotage, goûter, etc.) ?

Il y a

heures

minutes

◀ Précédent | Suite ▶

- 1 - Introduction
- 2 - Régime alimentaire
- 3 - État physiologique
- 4 - Partie I-0
- 5 - Partie I-1
- 6 - Partie I-2
- 7 - Partie I-3
- 8 - Partie I-4
- 9 - Partie I-5
- 10 - Partie II-0
- 11 - Partie II-1
- 12 - Partie II-2
- 13 - Partie II-3
- 14 - Partie II-4
- 15 - Partie II-5
- 16 - Partie III-0
- 17 - Partie III-1
- 18 - Partie IV-1
- 19 - Partie IV-2
- 20 - Partie IV-3
- 21 - Partie IV-4
- 22 - Anthropométrie
- 23 - Commentaires

### Partie I-0

Cette partie a pour objectif de mesurer votre degré d'attirance envers divers aliments. Pour chaque aliment, indiquez comment vous l'aimez sur l'échelle présentée.

Par exemple, pour répondre à la question « Comment aimez-vous le magret de canard ? » :

Si vous aimez moyennement le magret de canard (vous ne détestez pas mais vous n'adorez pas), vous cliquez alors sur le bouton au milieu de l'échelle.

Je n'aime vraiment pas du tout (-)          J'aime vraiment beaucoup (+)           Je n'ai jamais goûté

**EXEMPLE**

Si vous n'avez jamais eu l'occasion de le goûter, cochez la case "Je n'ai jamais goûté".

Répondez de manière spontanée et sachez qu'il n'y a pas de bonne ou de mauvaise réponse.

◀ Précédent | Suite ▶



- 1 - Introduction
- 2 - Régime alimentaire
- 3 - État physiologique
- 4 - Partie I-0
- 5 - Partie I-1**
- 6 - Partie I-2
- 7 - Partie I-3
- 8 - Partie I-4
- 9 - Partie I-5
- 10 - Partie II-0
- 11 - Partie II-1
- 12 - Partie II-2
- 13 - Partie II-3
- 14 - Partie II-4
- 15 - Partie II-5
- 16 - Partie III-0
- 17 - Partie III-1
- 18 - Partie IV-1
- 19 - Partie IV-2
- 20 - Partie IV-3
- 21 - Partie IV-4
- 22 - Anthropométrie
- 23 - Commentaires

## Partie I-1

### Comment aimez-vous...

#### Les biscuits apéritifs :

Je n'aime vraiment pas du tout (-)           J'aime vraiment beaucoup (+)  Je n'ai jamais goûté

#### Les chips :

Je n'aime vraiment pas du tout (-)           J'aime vraiment beaucoup (+)  Je n'ai jamais goûté

#### Les cacahuètes :

Je n'aime vraiment pas du tout (-)           J'aime vraiment beaucoup (+)  Je n'ai jamais goûté

#### Le pâté de campagne ou de foie :

Je n'aime vraiment pas du tout (-)           J'aime vraiment beaucoup (+)  Je n'ai jamais goûté

#### La saucisse fumé, type saucisse de Morteau, de Montbéliard... :

Je n'aime vraiment pas du tout (-)           J'aime vraiment beaucoup (+)  Je n'ai jamais goûté

#### La chipolata ou saucisse de Toulouse :

Je n'aime vraiment pas du tout (-)           J'aime vraiment beaucoup (+)  Je n'ai jamais goûté

#### Le saucisson sec :

Je n'aime vraiment pas du tout (-)           J'aime vraiment beaucoup (+)  Je n'ai jamais goûté

#### Le chorizo :

Je n'aime vraiment pas du tout (-)           J'aime vraiment beaucoup (+)  Je n'ai jamais goûté

#### Les rillettes :

Je n'aime vraiment pas du tout (-)           J'aime vraiment beaucoup (+)  Je n'ai jamais goûté

#### Le salami :

Je n'aime vraiment pas du tout (-)           J'aime vraiment beaucoup (+)  Je n'ai jamais goûté

◀ Précédent | Suite ▶

- 1 - Introduction
- 2 - Régime alimentaire
- 3 - État physiologique
- 4 - Partie I-0
- 5 - Partie I-1
- 6 - Partie I-2
- 7 - Partie I-3
- 8 - Partie I-4
- 9 - Partie I-5
- 10 - Partie II-0
- 11 - Partie II-1
- 12 - Partie II-2
- 13 - Partie II-3
- 14 - Partie II-4
- 15 - Partie II-5
- 16 - Partie III-0
- 17 - Partie III-1
- 18 - Partie IV-1
- 19 - Partie IV-2
- 20 - Partie IV-3
- 21 - Partie IV-4
- 22 - Anthropométrie
- 23 - Commentaires

## Partie I-2

### Comment aimez-vous...

#### Le cantal :

Je n'aime vraiment pas du tout (-)           J'aime vraiment beaucoup (+)  Je n'ai jamais goûté

#### Le fromage à pâte molle et crémeux, type Caprice des Dieux :

Je n'aime vraiment pas du tout (-)           J'aime vraiment beaucoup (+)  Je n'ai jamais goûté

#### La tartiflette :

Je n'aime vraiment pas du tout (-)           J'aime vraiment beaucoup (+)  Je n'ai jamais goûté

#### La fondue savoyarde :

Je n'aime vraiment pas du tout (-)           J'aime vraiment beaucoup (+)  Je n'ai jamais goûté

#### Le confit de canard ou d'oie :

Je n'aime vraiment pas du tout (-)           J'aime vraiment beaucoup (+)  Je n'ai jamais goûté

#### La sauce au roquefort :

Je n'aime vraiment pas du tout (-)           J'aime vraiment beaucoup (+)  Je n'ai jamais goûté

#### Les kébabs :

Je n'aime vraiment pas du tout (-)           J'aime vraiment beaucoup (+)  Je n'ai jamais goûté

[◀ Précédent](#) | [Suite ▶](#)



- 1 - Introduction
- 2 - Régime alimentaire
- 3 - État physiologique
- 4 - Partie I-0
- 5 - Partie I-1
- 6 - Partie I-2
- 7 - Partie I-3
- 8 - Partie I-4
- 9 - Partie I-5**
- 10 - Partie II-0
- 11 - Partie II-1
- 12 - Partie II-2
- 13 - Partie II-3
- 14 - Partie II-4
- 15 - Partie II-5
- 16 - Partie III-0
- 17 - Partie III-1
- 18 - Partie IV-1
- 19 - Partie IV-2
- 20 - Partie IV-3
- 21 - Partie IV-4
- 22 - Anthropométrie
- 23 - Commentaires

**Partie I-5**

**Comment aimez-vous...**

**La crème brûlée :**

Je n'aime vraiment pas du tout (-)           J'aime vraiment beaucoup (+)  Je n'ai jamais goûté

**La mousse au chocolat :**

Je n'aime vraiment pas du tout (-)           J'aime vraiment beaucoup (+)  Je n'ai jamais goûté

**Le gâteau au chocolat :**

Je n'aime vraiment pas du tout (-)           J'aime vraiment beaucoup (+)  Je n'ai jamais goûté

**Le brownie :**

Je n'aime vraiment pas du tout (-)           J'aime vraiment beaucoup (+)  Je n'ai jamais goûté

**Le paris-brest :**

Je n'aime vraiment pas du tout (-)           J'aime vraiment beaucoup (+)  Je n'ai jamais goûté

**Les gaufrettes à la vanille, aux noisettes, au praliné... :**

Je n'aime vraiment pas du tout (-)           J'aime vraiment beaucoup (+)  Je n'ai jamais goûté

**Les biscuits sablés (palet breton, sprits...):**

Je n'aime vraiment pas du tout (-)           J'aime vraiment beaucoup (+)  Je n'ai jamais goûté

**Les pains au chocolat :**

Je n'aime vraiment pas du tout (-)           J'aime vraiment beaucoup (+)  Je n'ai jamais goûté

**Les chaussons aux pommes :**

Je n'aime vraiment pas du tout (-)           J'aime vraiment beaucoup (+)  Je n'ai jamais goûté

**Les beignets :**

Je n'aime vraiment pas du tout (-)           J'aime vraiment beaucoup (+)  Je n'ai jamais goûté

◀ Précédent | Suite ▶



- 1 - Introduction
- 2 - Régime alimentaire
- 3 - État physiologique
  - 4 - Partie I-0
  - 5 - Partie I-1
  - 6 - Partie I-2
  - 7 - Partie I-3
  - 8 - Partie I-4
  - 9 - Partie I-5
- 10 - **Partie II-0**
- 11 - Partie II-1
- 12 - Partie II-2
- 13 - Partie II-3
- 14 - Partie II-4
- 15 - Partie II-5
- 16 - Partie III-0
- 17 - Partie III-1
- 18 - Partie IV-1
- 19 - Partie IV-2
- 20 - Partie IV-3
- 21 - Partie IV-4
- 22 - Anthropométrie
- 23 - Commentaires

**Partie II-0**

Cette deuxième partie concerne la façon dont vous préférez vos aliments (ce qui n'est pas forcément la façon dont vous consommez habituellement vos aliments). Les aliments cités font référence à des aliments qui n'ont pas encore été assaisonnés.

Avant de commencer, voici un exemple :

Comment préférez-vous votre steak ... **EXEMPLE**

Cochez ici la case qui correspond à la façon dont vous préférez votre steak :

sans beurre  0  1  2  3  4  5 avec beaucoup de beurre  Je n'aime pas les steaks

Chaque chiffre correspond à un steak avec une quantité de beurre telle qu'illustrée sur les photos (0, 2 et 4) ou une quantité intermédiaire à celle des photos (1 et 3).

Le chiffre 5 correspond à un steak avec une quantité de beurre encore plus importante que celle de la photo 4.

Pour répondre, il faut donc choisir le chiffre représentant le mieux votre préférence pour la quantité de beurre associée à votre steak.

Si vous aimez manger votre steak avec une grosse noisette de beurre, mais pour des raisons de santé, vous devez le consommer généralement sans beurre. Répondez alors en fonction de ce que vous aimeriez et non pas en fonction de ce que vous consommez habituellement.

Si vous n'aimez pas les steaks, vous cliquerez sur le bouton « Je n'aime pas les steaks »

[Précédent](#) | [Suite](#)

- 1 - Introduction
- 2 - Régime alimentaire
- 3 - État physiologique
- 4 - Partie I-0
- 5 - Partie I-1
- 6 - Partie I-2
- 7 - Partie I-3
- 8 - Partie I-4
- 9 - Partie I-5
- 10 - Partie II-0
- 11 - **Partie II-1**
- 12 - Partie II-2
- 13 - Partie II-3
- 14 - Partie II-4
- 15 - Partie II-5
- 16 - Partie III-0
- 17 - Partie III-1
- 18 - Partie IV-1
- 19 - Partie IV-2
- 20 - Partie IV-3
- 21 - Partie IV-4
- 22 - Anthropométrie
- 23 - Commentaires

**Partie II-1**

Comment préférez-vous votre œuf à la coque ...

Cochez ici la case qui correspond à la façon dont vous préférez votre œuf à la coque :

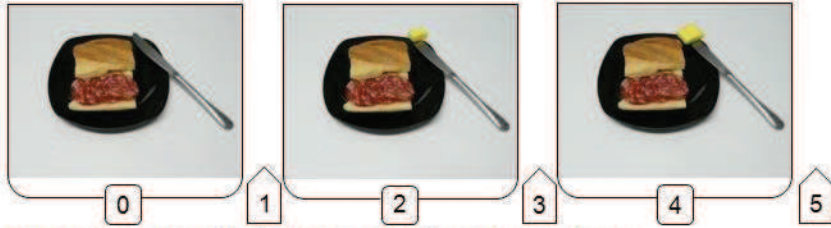
Pas du tout salé  0  1  2  3  4  5 Très salé  Je n'aime pas les œufs à la coque

Comment préférez-vous vos radis ...

Cochez ici la case qui correspond à la façon dont vous préférez vos radis :

Sans beurre  0  1  2  3  4  5 Avec beaucoup de beurre  Je n'aime pas les radis

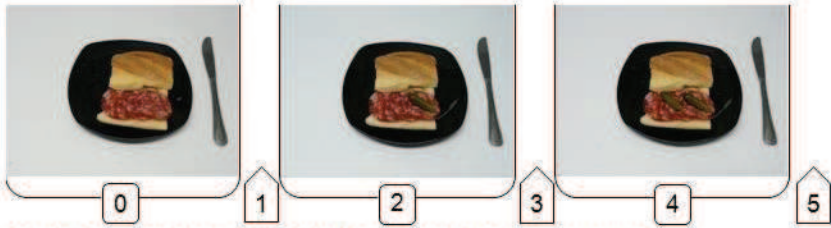
Comment préférez-vous le pain et le saucisson ...



Cochez ici la case qui correspond à la façon dont vous préférez le pain et le saucisson :

Sans beurre  0  1  2  3  4  5 Avec beaucoup de beurre  Je n'aime pas le pain et le saucisson

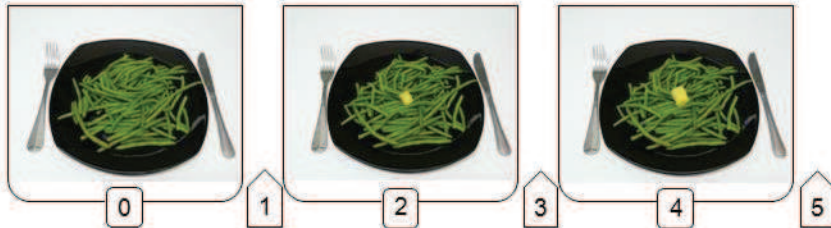
Comment préférez-vous le pain et le saucisson ...



Cochez ici la case qui correspond à la façon dont vous préférez le pain et le saucisson :

Sans cornichon  0  1  2  3  4  5 Avec beaucoup de cornichons  Je n'aime pas le pain et le saucisson

Comment préférez-vous vos haricots verts ...



Cochez ici la case qui correspond à la façon dont vous préférez vos haricots verts :

Sans beurre  0  1  2  3  4  5 Avec beaucoup de beurre  Je n'aime pas les haricots verts

[← Précédent](#) | [Suite →](#)

3 - État physiologique

4 - Partie I-0

5 - Partie I-1

6 - Partie I-2

7 - Partie I-3

8 - Partie I-4

9 - Partie I-5

10 - Partie II-0

11 - Partie II-1

12 - **Partie II-2**

13 - Partie II-3

14 - Partie II-4

15 - Partie II-5

16 - Partie III-0

17 - Partie III-1

18 - Partie IV-1

19 - Partie IV-2

20 - Partie IV-3

21 - Partie IV-4

22 - Anthropométrie

23 - Commentaires

Comment préférez-vous vos haricots verts ...



0



1



3

4

5

Cochez ici la case qui correspond à la façon dont vous préférez vos haricots verts :

Pas du tout salés  0  1  2  3  4  5 Très salés  Je n'aime pas les haricots verts

Comment préférez-vous votre purée ...



0



1



3

4

5

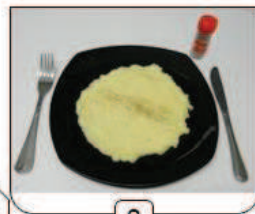
Cochez ici la case qui correspond à la façon dont vous préférez votre purée :

Pas du tout salée  0  1  2  3  4  5 Très salée  Je n'aime pas la purée

Comment préférez-vous votre purée ...



0



1



3

4

5

Cochez ici la case qui correspond à la façon dont vous préférez votre purée :

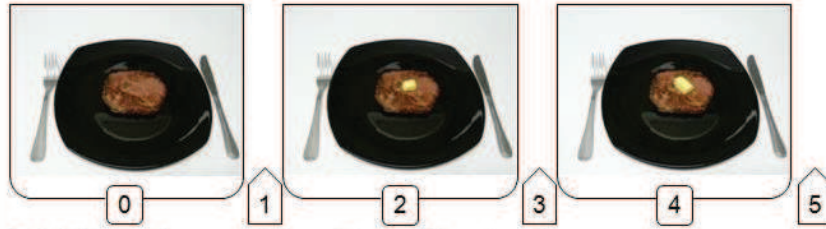
Pas du tout poivrée  0  1  2  3  4  5 Très poivrée  Je n'aime pas la purée



- 1 - Introduction
- 2 - Régime alimentaire
- 3 - État physiologique
- 4 - Partie I-0
- 5 - Partie I-1
- 6 - Partie I-2
- 7 - Partie I-3
- 8 - Partie I-4
- 9 - Partie I-5
- 10 - Partie II-0
- 11 - Partie II-1
- 12 - Partie II-2
- 13 - **Partie II-3**
- 14 - Partie II-4
- 15 - Partie II-5
- 16 - Partie III-0
- 17 - Partie III-1
- 18 - Partie IV-1
- 19 - Partie IV-2
- 20 - Partie IV-3
- 21 - Partie IV-4
- 22 - Anthropométrie
- 23 - Commentaires

Partie II-3

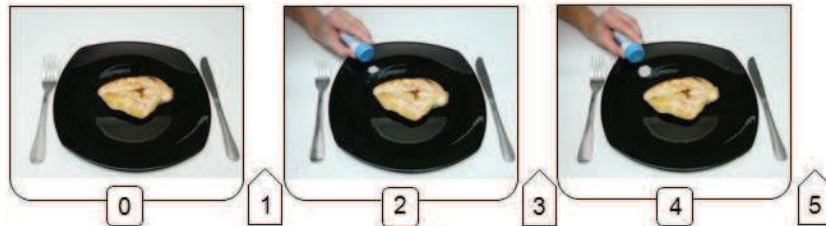
Comment préférez-vous votre steak ...



Cochez ici la case qui correspond à la façon dont vous préférez votre steak :

Sans beurre  0  1  2  3  4  5 Avec beaucoup de beurre  Je n'aime pas les steaks

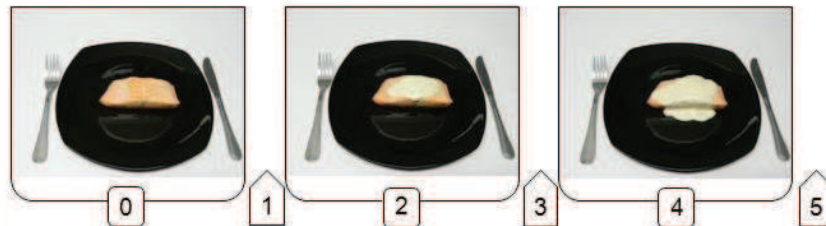
Comment préférez-vous votre escalope de poulet...



Cochez ici la case qui correspond à la façon dont vous préférez votre escalope de poulet :

Pas du tout salée  0  1  2  3  4  5 Très salée  Je n'aime pas les escalopes de poulet

Comment préférez-vous votre pavé de saumon ...

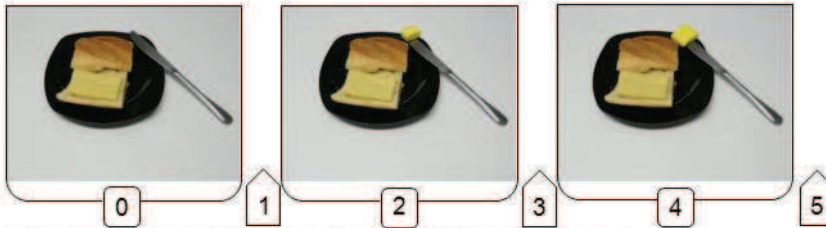


Cochez ici la case qui correspond à la façon dont vous préférez votre pavé de saumon :

Sans sauce à la crème  0  1  2  3  4  5 Avec beaucoup de sauce à la crème  Je n'aime pas le pavé de saumon



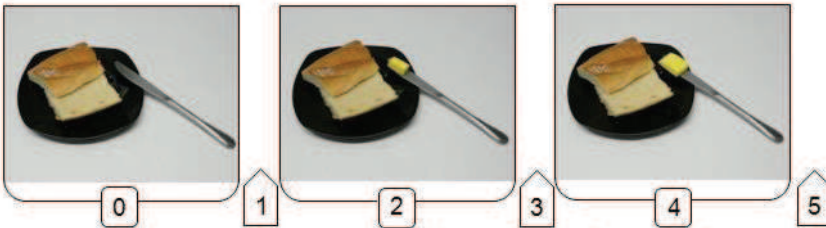
Comment préférez-vous le pain et le fromage...



Cochez ici la case qui correspond à la façon dont vous préférez le pain et le fromage :

Sans beurre  0  1  2  3  4  5 Avec beaucoup de beurre  Je n'aime pas le pain et le fromage

Comment préférez-vous le pain au petit-déjeuner ou au goûter...



Cochez ici la case qui correspond à la façon dont vous préférez le pain au petit-déjeuner ou au goûter :

Sans beurre  0  1  2  3  4  5 Avec beaucoup de beurre  Je n'aime pas le pain au petit-déjeuner ou au goûter

Comment préférez-vous le pain au petit-déjeuner ou au goûter...



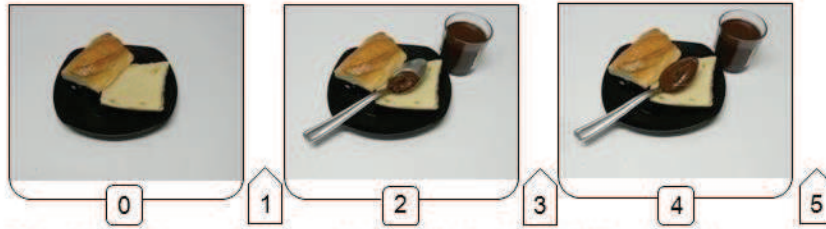
Cochez ici la case qui correspond à la façon dont vous préférez le pain au petit-déjeuner ou au goûter :

Sans confiture  0  1  2  3  4  5 Avec beaucoup de confiture  Je n'aime pas le pain au petit-déjeuner ou au goûter

- 1 - Introduction
- 2 - Régime alimentaire
- 3 - État physiologique
- 4 - Partie I-0
- 5 - Partie I-1
- 6 - Partie I-2
- 7 - Partie I-3
- 8 - Partie I-4
- 9 - Partie I-5
- 10 - Partie II-0
- 11 - Partie II-1
- 12 - Partie II-2
- 13 - Partie II-3
- 14 - Partie II-4**
- 15 - Partie II-5
- 16 - Partie III-0
- 17 - Partie III-1
- 18 - Partie IV-1
- 19 - Partie IV-2
- 20 - Partie IV-3
- 21 - Partie IV-4
- 22 - Anthropométrie
- 23 - Commentaires

Partie II-4

Comment préférez-vous le pain au petit-déjeuner ou au goûter...



Cochez ici la case qui correspond à la façon dont vous préférez le pain au petit-déjeuner ou au goûter...

Sans Nutella  0  1  2  3  4  5 Avec beaucoup de Nutella  Je n'aime pas le pain au petit-déjeuner ou au goûter

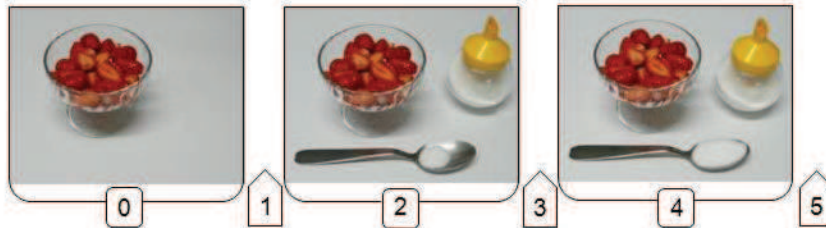
Comment préférez-vous votre yaourt...



Cochez ici la case qui correspond à la façon dont vous préférez votre yaourt :

Sans confiture  0  1  2  3  4  5 Avec beaucoup de confiture  Je n'aime pas les yaourts

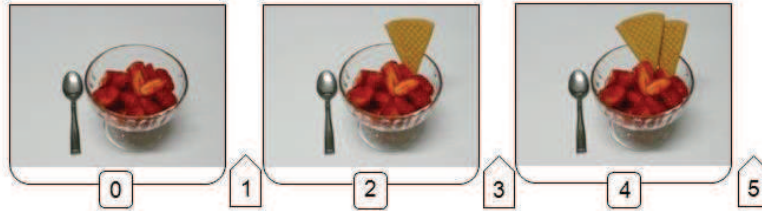
Comment préférez-vous vos fraises...



Cochez ici la case qui correspond à la façon dont vous préférez vos fraises :

Pas du tout sucrées  0  1  2  3  4  5 Très sucrées  Je n'aime pas les fraises

Comment préférez-vous vos fraises...



Cochez ici la case qui correspond à la façon dont vous préférez vos fraises :

Sans biscuit  0  1  2  3  4  5 Avec beaucoup de biscuits  Je n'aime pas les fraises

Comment préférez-vous votre crêpe...



Cochez ici la case qui correspond à la façon dont vous préférez votre crêpe :

Pas du tout sucrée  0  1  2  3  4  5 Très sucrée  Je n'aime pas les crêpes

[Précédent](#) [Suite](#)

- 1 - Introduction
- 2 - Régime alimentaire
- 3 - État physiologique
- 4 - Partie I-0
- 5 - Partie I-1
- 6 - Partie I-2
- 7 - Partie I-3
- 8 - Partie I-4
- 9 - Partie I-5
- 10 - Partie II-0
- 11 - Partie II-1
- 12 - Partie II-2
- 13 - Partie II-3
- 14 - Partie II-4
- 15 - **Partie II-5**
- 16 - Partie III-0
- 17 - Partie III-1
- 18 - Partie IV-1
- 19 - Partie IV-2
- 20 - Partie IV-3
- 21 - Partie IV-4
- 22 - Anthropométrie
- 23 - Commentaires

Partie II-5

Comment préférez-vous votre crêpe...



Cochez ici la case qui correspond à la façon dont vous préférez votre crêpe :

Sans chantilly  0  1  2  3  4  5 Avec beaucoup de chantilly  Je n'aime pas les crêpes

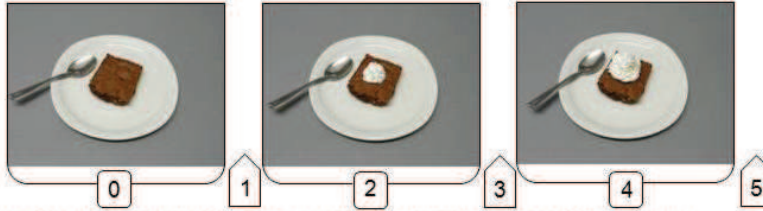
Comment préférez-vous votre crêpe...



Cochez ici la case qui correspond à la façon dont vous préférez votre crêpe :

Sans citron  0  1  2  3  4  5 Avec beaucoup de citron  Je n'aime pas les crêpes

Comment préférez-vous votre fondant au chocolat ou brownie...



Cochez ici la case qui correspond à la façon dont vous préférez votre fondant au chocolat ou brownie :

Sans chantilly  0  1  2  3  4  5 Avec beaucoup de chantilly  Je n'aime pas les fondants au chocolat ou les brownies

Comment préférez-vous votre coupe glacée...



Cochez ici la case qui correspond à la façon dont vous préférez votre coupe glacée :

Sans chantilly  0  1  2  3  4  5 Avec beaucoup de chantilly  Je n'aime pas les coupes glacées

Comment préférez-vous votre coupe glacée et chantilly...



Cochez ici la case qui correspond à la façon dont vous préférez votre coupe glacée et chantilly :

Sans biscuit  0  1  2  3  4  5 Avec beaucoup de biscuits  Je n'aime pas les coupes glacées avec de la chantilly

[Précédent](#) | [Suite](#)

- 1 - Introduction
- 2 - Régime alimentaire
- 3 - État physiologique
  - 4 - Partie I-0
  - 5 - Partie I-1
  - 6 - Partie I-2
  - 7 - Partie I-3
  - 8 - Partie I-4
  - 9 - Partie I-5
  - 10 - Partie II-0
  - 11 - Partie II-1
  - 12 - Partie II-2
  - 13 - Partie II-3
  - 14 - Partie II-4
  - 15 - Partie II-5
  - 16 - **Partie III-0**
  - 17 - Partie III-1
  - 18 - Partie IV-1
  - 19 - Partie IV-2
  - 20 - Partie IV-3
  - 21 - Partie IV-4
- 22 - Anthropométrie
- 23 - Commentaires

### Partie III-0

Un nouveau bar va bientôt s'ouvrir près de chez vous. Le gérant aimerait y présenter une carte contenant les **boissons préférées** de ses futurs clients. Pour cela, il réalise un sondage dans lequel il vous propose une liste variée de boissons.

Pour chaque type de boissons :

Vous sélectionnez les **boissons que vous préférez** : vous pourrez en choisir jusqu'à 3 dans la liste proposée.

Si rien ne vous attire dans la liste, cochez la case "aucune".

[Précédent](#) | [Suite](#)



- 1 - Introduction
- 2 - Régime alimentaire
- 3 - État physiologique
  - 4 - Partie I-0
  - 5 - Partie I-1
  - 6 - Partie I-2
  - 7 - Partie I-3
  - 8 - Partie I-4
  - 9 - Partie I-5
  - 10 - Partie II-0
  - 11 - Partie II-1
  - 12 - Partie II-2
  - 13 - Partie II-3
  - 14 - Partie II-4
  - 15 - Partie II-5
  - 16 - Partie III-0
  - 17 - Partie III-1**
  - 18 - Partie IV-1
  - 19 - Partie IV-2
  - 20 - Partie IV-3
  - 21 - Partie IV-4
- 22 - Anthropométrie
- 23 - Commentaires

### Partie III-1

**Sélectionnez les boissons que vous préférez :**

*Vous pouvez en choisir jusqu'à 3.*

*Si rien ne vous attire dans la liste, cochez la case "aucune".*

- Jus de fruits (abricot, poire, raisin, fruits exotiques, orange, ...)
- Jus de tomate
- Soda (limonade, fanta, coca-cola, orangina, ...)
- Diabolo (fraise, menthe, pêche, grenadine, ...)
- Eau gazeuse et sa rondelle de citron
- Eau minérale
- Aucune

**Sélectionnez les boissons chaudes que vous préférez dans la liste ci-dessous :**

*Vous pouvez en choisir jusqu'à 3.*

*Si rien ne vous attire dans la liste, cochez la case "aucune".*

- Café expresso
- Café viennois (café avec chantilly)
- Chocolat chaud
- Chocolat viennois (chocolat chaud avec chantilly)
- Mokaccino (Expresso et chocolat chaud à la crème fouettée)
- Thé
- Aucune

◀ Précédent | Suite ▶

- 1 - Introduction
- 2 - Régime alimentaire
- 3 - État physiologique
  - 4 - Partie I-0
  - 5 - Partie I-1
  - 6 - Partie I-2
  - 7 - Partie I-3
  - 8 - Partie I-4
  - 9 - Partie I-5
  - 10 - Partie II-0
  - 11 - Partie II-1
  - 12 - Partie II-2
  - 13 - Partie II-3
  - 14 - Partie II-4
  - 15 - Partie II-5
  - 16 - Partie III-0
  - 17 - Partie III-1
  - 18 - Partie IV-1**
  - 19 - Partie IV-2
  - 20 - Partie IV-3
  - 21 - Partie IV-4
- 22 - Anthropométrie
- 23 - Commentaires

### Partie IV-1

Dans cette dernière partie, nous allons vous poser quelques questions complémentaires.

Comme précédemment, répondez de manière spontanée et sachez qu'il n'y a pas de bonne ou de mauvaise réponse.

**Vous allez acheter un sandwich jambon-beurre à la boulangerie. Dans la rue, vous vous apercevez que c'est un sandwich au jambon sans beurre. Est-ce que cela vous dérange de manger ce sandwich sans beurre ?**

Vraiment pas du tout           Vraiment beaucoup  Je n'aime pas le sandwich jambon-beurre

**Vous êtes au restaurant et vous avez choisi en dessert une faisselle de fromage blanc aux fruits rouges. En le goûtant, vous apercevez qu'elle est trop peu sucrée. Est-ce que cela vous dérange de manger cette faisselle peu sucrée ?**

Vraiment pas du tout           Vraiment beaucoup  Je n'aime pas la faisselle aux fruits rouges

**Vous êtes dans un café. On vous apporte votre boisson chaude favorite (café, thé, tisane). Vous n'avez pas de sucre sur votre table. Est-ce que cela vous dérange de boire votre boisson chaude sans sucre ?**

Vraiment pas du tout           Vraiment beaucoup  Je n'aime pas les boissons chaudes

◀ Précédent | Suite ▶

- 1 - Introduction
- 2 - Régime alimentaire
- 3 - État physiologique
  - 4 - Partie I-0
  - 5 - Partie I-1
  - 6 - Partie I-2
  - 7 - Partie I-3
  - 8 - Partie I-4
  - 9 - Partie I-5
- 10 - Partie II-0
- 11 - Partie II-1
- 12 - Partie II-2
- 13 - Partie II-3
- 14 - Partie II-4
- 15 - Partie II-5
- 16 - Partie III-0
- 17 - Partie III-1
- 18 - Partie IV-1
- 19 - Partie IV-2**
- 20 - Partie IV-3
- 21 - Partie IV-4
- 22 - Anthropométrie
- 23 - Commentaires

## Partie IV-2

**Vous arrive-t-il de saler votre plat avant de l'avoir goûté ?**

- Jamais  Rarement  Parfois  Souvent  Toujours

**Vous partez en pique-nique avec des amis. Vous vous chargez d'apporter le pain, des œufs durs, des tomates et du beurre. Pensez-vous à prendre du sel ?**

- Jamais  Rarement  Parfois  Souvent  Toujours

**Vous êtes chez un glacier et vous composez votre coupe glacée. Demandez-vous à mettre de la chantilly par-dessus ?**

- Jamais  Rarement  Parfois  Souvent  Toujours

**Vous arrive-t-il de manger de la pâte à tartiner au chocolat et noisettes (type Nutella) à la petite cuillère ?**

- Jamais  Rarement  Parfois  Souvent  Toujours

**Vous arrive-t-il de manger de la confiture à la petite cuillère ?**

- Jamais  Rarement  Parfois  Souvent  Toujours

**Ajoutez-vous du sel dans l'eau de cuisson des pâtes ?**

- Jamais  Rarement  Parfois  Souvent  Toujours  Je ne cuisine pas cet aliment

[◀ Précédent](#) | [Suite ▶](#)

- 1 - Introduction
- 2 - Régime alimentaire
- 3 - État physiologique
  - 4 - Partie I-0
  - 5 - Partie I-1
  - 6 - Partie I-2
  - 7 - Partie I-3
  - 8 - Partie I-4
  - 9 - Partie I-5
  - 10 - Partie II-0
  - 11 - Partie II-1
  - 12 - Partie II-2
  - 13 - Partie II-3
  - 14 - Partie II-4
  - 15 - Partie II-5
  - 16 - Partie III-0
  - 17 - Partie III-1
  - 18 - Partie IV-1
  - 19 - Partie IV-2
  - 20 - Partie IV-3**
  - 21 - Partie IV-4
- 22 - Anthropométrie
- 23 - Commentaires

### Partie IV-3

---

#### Comment préférez-vous votre soupe...

- Pas du tout salée
- Plutôt peu salée
- Moyennement salée
- Plutôt salée
- Très salée
- Je n'aime pas la soupe

#### Comment préférez-vous votre soupe...

- Sans crème fraîche
- Avec une petite quantité de crème fraîche
- Avec une quantité moyenne de crème fraîche
- Avec une grande quantité de crème fraîche
- Avec une très grande quantité de crème fraîche
- Je n'aime pas la soupe

#### Comment préférez-vous vos pâtes...

- Pas du tout salées
- Plutôt peu salées
- Moyennement salées
- Plutôt salées
- Très salées
- Je n'aime pas les pâtes

#### Comment préférez-vous vos pâtes...

- Sans beurre
- Avec une petite quantité de beurre
- Avec une quantité moyenne de beurre
- Avec une grande quantité de beurre
- Avec une très grande quantité de beurre
- Je n'aime pas les pâtes

**Comment préférez-vous vos pâtes...**

- Sans ketchup
- Avec une petite quantité de ketchup
- Avec une quantité moyenne de ketchup
- Avec une grande quantité de ketchup
- Avec une très grande quantité de ketchup
- Je n'aime pas les pâtes

**Comment préférez-vous votre purée...**

- Sans beurre
- Avec une petite quantité de beurre
- Avec une quantité moyenne de beurre
- Avec une grande quantité de beurre
- Avec une très grande quantité de beurre
- Je n'aime pas la purée

**Comment préférez-vous vos frites...**

- Pas du tout salées
- Plutôt peu salées
- Moyennement salées
- Plutôt salées
- Très salées
- Je n'aime pas les frites

**Comment préférez-vous votre steak...**

- Pas du tout salé
- Plutôt peu salé
- Moyennement salé
- Plutôt salé
- Vraiment très salé
- Je n'aime pas les steaks

**Comment préférez-vous votre steak...**

- Sans moutarde
- Avec une petite quantité de moutarde
- Avec une quantité moyenne de moutarde
- Avec une grande quantité de moutarde
- Avec une très grande quantité de moutarde
- Je n'aime pas les steaks



- 1 - Introduction
- 2 - Régime alimentaire
- 3 - État physiologique
  - 4 - Partie I-0
  - 5 - Partie I-1
  - 6 - Partie I-2
  - 7 - Partie I-3
  - 8 - Partie I-4
  - 9 - Partie I-5
  - 10 - Partie II-0
  - 11 - Partie II-1
  - 12 - Partie II-2
  - 13 - Partie II-3
  - 14 - Partie II-4
  - 15 - Partie II-5
  - 16 - Partie III-0
  - 17 - Partie III-1
  - 18 - Partie IV-1
  - 19 - Partie IV-2
  - 20 - Partie IV-3
  - 21 - Partie IV-4**
- 22 - Anthropométrie
- 23 - Commentaires

#### Partie IV-4

---

##### Comment préférez-vous votre yaourt...

- Pas du tout sucré
- Plutôt peu sucré
- Moyennement sucré
- Plutôt sucré
- Vraiment très sucré
- Je n'aime pas les yaourts naturels

##### Comment préférez-vous vos fraises...

- Sans chantilly
- Avec une petite quantité de chantilly
- Avec une quantité moyenne de chantilly
- Avec une grande quantité de chantilly
- Avec une très grande quantité de chantilly
- Je n'aime pas les fraises

##### Comment préférez-vous votre crêpe...

- Sans confiture
- Avec une petite quantité de confiture
- Avec une quantité moyenne de confiture
- Avec une grande quantité de confiture
- Avec une très grande quantité de confiture
- Je n'aime pas les crêpes

##### Comment préférez-vous votre crêpe...

- Sans Nutella
- Avec une petite quantité de Nutella
- Avec une quantité moyenne de Nutella
- Avec une grande quantité de Nutella
- Avec une très grande quantité de Nutella
- Je n'aime pas les crêpes

Comment préférez-vous votre thé...

- Pas du tout sucré
- Plutôt peu sucré
- Moyennement sucré
- Plutôt sucré
- Très sucré
- Je n'aime pas le thé

Comment préférez-vous votre thé...

- Sans citron
- Avec une petite quantité de citron
- Avec une quantité moyenne de citron
- Avec une grande quantité de citron
- Avec une très grande quantité de citron
- Je n'aime pas le thé

Comment préférez-vous votre thé...

- Sans lait
- Avec une petite quantité de lait
- Avec une quantité moyenne de lait
- Avec une grande quantité de lait
- Avec une très grande quantité de lait
- Je n'aime pas le thé

Comment préférez-vous votre café...

- Pas du tout sucré
- Plutôt peu sucré
- Moyennement sucré
- Plutôt sucré
- Très sucré
- Je n'aime pas le café

Comment préférez-vous votre café...

- Sans lait
- Avec une petite quantité de lait
- Avec une quantité moyenne de lait
- Avec une grande quantité de lait
- Avec une très grande quantité de lait
- Je n'aime pas le café

- 1 - Introduction
- 2 - Régime alimentaire
- 3 - État physiologique
  - 4 - Partie I-0
  - 5 - Partie I-1
  - 6 - Partie I-2
  - 7 - Partie I-3
  - 8 - Partie I-4
  - 9 - Partie I-5
  - 10 - Partie II-0
  - 11 - Partie II-1
  - 12 - Partie II-2
  - 13 - Partie II-3
  - 14 - Partie II-4
  - 15 - Partie II-5
  - 16 - Partie III-0
  - 17 - Partie III-1
  - 18 - Partie IV-1
  - 19 - Partie IV-2
  - 20 - Partie IV-3
  - 21 - Partie IV-4

**22 - Anthropométrie**  
23 - Commentaires

**Anthropométrie**

Indiquez votre poids actuel :

 kg

Indiquez votre taille actuelle :

 cm

## Annexe 2

### Questionnaire mesurant la restriction cognitive, l'alimentation incontrôlée et l'émotivité alimentaire (Three Factor Eating Questionnaire R-21)

<b>Three-Factor Eating Questionnaire – Revised 21 items</b>
---

1. À table, je prends délibérément de petites parts comme moyen de contrôler mon poids.  
 entièrement vrai 4  
 assez vrai 3  
 assez faux 2  
 complètement faux 1
  
2. Quand je me sens anxieux (se), je me surprends à manger.  
 entièrement vrai 4  
 assez vrai 3  
 assez faux 2  
 complètement faux 1
  
3. Parfois, lorsque je commence à manger, j'ai l'impression que je ne vais pas pouvoir m'arrêter.  
 entièrement vrai 4  
 assez vrai 3  
 assez faux 2  
 complètement faux 1
  
4. Quand j'ai le cafard, il m'arrive souvent de manger trop.  
 entièrement vrai 4  
 assez vrai 3  
 assez faux 2  
 complètement faux 1
  
5. J'évite de manger certains aliments car ils me font grossir.  
 entièrement vrai 4  
 assez vrai 3  
 assez faux 2  
 complètement faux 1
  
6. Lorsque je suis avec quelqu'un qui mange, cela me donne souvent assez faim pour manger aussi.  
 entièrement vrai 4  
 assez vrai 3  
 assez faux 2  
 complètement faux 1
  
7. Quand je me sens tendu ou crispé, je ressens souvent le besoin de manger  
 entièrement vrai 4  
 assez vrai 3  
 assez faux 2  
 complètement faux 1

8. J'ai si faim que j'ai souvent l'impression que mon estomac est un puits sans fond.
- |  |   |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> entièrement vrai  | 4 |
| <input type="checkbox"/> assez vrai        | 3 |
| <input type="checkbox"/> assez faux        | 2 |
| <input type="checkbox"/> complètement faux | 1 |
9. Comme j'ai toujours faim, il m'est difficile d'arrêter de manger avant d'avoir terminé mon assiette.
- |  |   |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> entièrement vrai  | 4 |
| <input type="checkbox"/> assez vrai        | 3 |
| <input type="checkbox"/> assez faux        | 2 |
| <input type="checkbox"/> complètement faux | 1 |
10. Lorsque je me sens seul (e), je me console en mangeant.
- |  |   |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> entièrement vrai  | 4 |
| <input type="checkbox"/> assez vrai        | 3 |
| <input type="checkbox"/> assez faux        | 2 |
| <input type="checkbox"/> complètement faux | 1 |
11. À table, je me retiens volontairement de manger pour ne pas prendre de poids.
- |  |   |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> entièrement vrai  | 4 |
| <input type="checkbox"/> assez vrai        | 3 |
| <input type="checkbox"/> assez faux        | 2 |
| <input type="checkbox"/> complètement faux | 1 |
12. Quand je sens une odeur de grillade ou que je vois un morceau de viande juteux, je trouve très difficile de me retenir de manger même si je viens de terminer un repas.
- |  |   |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> entièrement vrai  | 4 |
| <input type="checkbox"/> assez vrai        | 3 |
| <input type="checkbox"/> assez faux        | 2 |
| <input type="checkbox"/> complètement faux | 1 |
13. J'ai toujours assez faim pour manger à n'importe quelle heure.
- |  |   |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> entièrement vrai  | 4 |
| <input type="checkbox"/> assez vrai        | 3 |
| <input type="checkbox"/> assez faux        | 2 |
| <input type="checkbox"/> complètement faux | 1 |
14. Si je me sens nerveux, j'essaie de me calmer en mangeant.
- |  |   |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> entièrement vrai  | 4 |
| <input type="checkbox"/> assez vrai        | 3 |
| <input type="checkbox"/> assez faux        | 2 |
| <input type="checkbox"/> complètement faux | 1 |
15. La vue d'un aliment appétissant me donne souvent tellement faim que je suis obligé de manger tout de suite.
- |   |   |
|---|---|
| <input type="checkbox"/> entièrement vrai | 4 |
| <input type="checkbox"/> assez vrai       | 3 |
| <input type="checkbox"/> assez faux       | 2 |



- complètement faux 1
16. Quand je me sens déprimé, je veux manger.
- entièrement vrai 4
- assez vrai 3
- assez faux 2
- complètement faux 1
17. Vous arrive-t-il d'éviter de « faire des provisions » d'aliments qui vous tentent ?
- jamais ou presque 1
- rarement 2
- souvent 3
- presque toujours 4
18. Avez-vous tendance à manger volontairement moins que vous n'en avez envie ?
- pas du tout 1
- un peu 2
- modérément 3
- fortement 4
19. Vous arrive-t-il de vous « empiffrer » bien que vous n'avez pas faim ?
- jamais 1
- rarement 2
- parfois 3
- au moins une fois par semaine 4
20. À quels moments avez-vous une sensation de faim ?
- uniquement à l'heure des repas 1
- parfois entre les repas 2
- souvent entre les repas 3
- presque tout le temps 4
21. Sur une échelle allant de 1 à 8, où
1. 1 signifie « pas de restriction du tout sur l'alimentation » (c'est-à-dire que vous mangez ce que vous voulez, quand vous le voulez)
2. et 8 « une restriction importante » (c'est-à-dire que vous limitez en permanence la prise alimentaire sans jamais craquer), quel chiffre vous donnez-vous ? Entourez le chiffre qui correspond le mieux à votre cas.
- 1    2    3    4    5    6    7    8

## **Annexe 3**

### **Questionnaire mesurant la désirabilité sociale (DS 36)**

#### **Personnalité et attitudes**

De récentes recherches suggèrent que la perception de notre personnalité et de nos attitudes pourrait être en lien avec nos comportements et choix alimentaires.

Pour pouvoir prendre en considération cette donnée, nous vous proposons de répondre à ce questionnaire qui aborde différents aspects de la personnalité et des attitudes. Il s'agit d'un questionnaire élaboré par des psychologues qui est largement utilisé dans de nombreuses recherches biomédicales et comportementales. Il n'est pas centré sur l'alimentation ni sur la santé, mais il nous permettra d'évaluer différentes attitudes afin de mieux comprendre les déterminants des choix alimentaires et les conséquences potentielles sur la santé.











# ABSTRACT

**Relationships between sensory liking for fat, salt and sweet of consumers, their dietary intake and their nutritional status. Modulating effect of demographic, socioeconomic, psychological, lifestyle and health factors.**

Fats, sugars and sodium, nutrients involved in the development of chronic diseases, contribute to sensory properties of many foods in terms of taste, texture and palatability and also to the pleasure associated with their consumption. In addition, food supply has changed in recent decades, offering more foods containing high amounts of fats, sodium and sugars with strong sensory attractiveness. Still, in this context, the influence of sensory determinants on dietary intake and the development of obesity have been little explored.

The main objective of this thesis was to investigate the associations between sensory liking for fat, salt and sweet and individual characteristics, and to assess its influence on food consumption and weight status, in a large population of French adults participating in the NutriNet-Santé cohort.

According to the levels of liking for fat-and-salt, fat-and-sweet, salt and sweet, individual profiles based on demographic, socioeconomic, psychological, lifestyle and health factors have been highlighted.

Liking for fat was associated with an increased risk of obesity over five years of follow-up, and unhealthier dietary intake contribute to explain this association. However, liking for sweet was inversely associated with the risk of obesity and this relationship can be explained by one of the sub-factors which is “liking for natural sweetness”, along with a healthier diet. Finally, liking for salt was not associated with the occurrence of obesity.

The structural equation models showed that dietary restriction was the major predictor of weight gain, and sensory liking for fat was an important determinant of food intake, ahead of the effect of other determinants, which are however well-known in the literature. Many relationships have also been confirmed, such as the influence of age, sex, socioeconomic status on dietary intake, as well as the impact of food consumption and physical activity on a reduce weight gain among non-overweight individuals.

These results illustrate the important influence of sensory liking, especially fat liking, on food intake and weight status. Results also emphasize the need to focus on individual hedonic perception when investigating dietary habits.

---

**Keywords:** individual characteristics, sensory liking, fat, salt, sweet, weight status, obesity, food intake, structural equation models, nutrition, epidemiology





# RESUME

## **Relations entre l'attirance sensorielle des consommateurs pour le gras, le salé et le sucré et leurs comportements alimentaires et leur état nutritionnel. Rôle modulateur des facteurs démographiques, socioéconomiques, psychologiques, de mode de vie et de santé.**

Les graisses, les sucres et le sodium, nutriments impliqués dans l'apparition de maladies chroniques, participent aux propriétés sensorielles de nombreux aliments en termes de goût, texture et palatabilité et contribuent au plaisir associé à leur consommation. Par ailleurs, l'offre alimentaire a évolué ces dernières décennies, proposant des aliments plus riches en matières grasses, sucres et sodium présentant une forte attractivité sensorielle. Dans ce contexte, l'un des domaines de recherche encore peu exploré est la compréhension de l'influence des déterminants sensoriels sur les comportements alimentaires et l'apparition de l'obésité.

L'objectif principal de ce travail de thèse était d'étudier l'association de l'attirance sensorielle pour le gras, le salé et le sucré et les caractéristiques individuelles, et d'évaluer son influence sur les consommations alimentaires et le statut pondéral, au sein d'une large population d'adultes français issus de la cohorte NutriNet-Santé.

Des profils individuels selon les caractéristiques démographiques, socioéconomiques, psychologiques, de mode de vie et de santé ont été mis en évidence selon les niveaux d'attirance pour le gras-salé, le gras-sucré, le salé et le sucré.

L'attirance pour le gras est associée à un risque augmenté d'apparition de l'obésité sur cinq ans de suivi, et une alimentation plus fréquemment défavorable à la santé contribue à expliquer cette relation. En revanche, l'attirance pour le sucré est inversement associée avec le risque d'obésité et cette relation est attribuable au sous-facteur de l'attirance les sucres naturels, associé à une alimentation de meilleure qualité nutritionnelle. Enfin, l'attirance pour le salé n'était pas associée avec la survenue de l'obésité.

La modélisation par équations structurelles a mis en évidence que la restriction alimentaire est le prédicteur majeur de la prise de poids, et l'attirance sensorielle pour le gras est le déterminant le plus important des consommations alimentaires, devant l'effet d'autres déterminants pourtant reconnus dans la littérature. De nombreuses relations ont également été confirmées, telles que l'influence de l'âge, du sexe et du statut socioéconomique sur l'alimentation, ainsi que l'impact de l'alimentation et de l'activité physique sur une moindre prise de poids chez les sujets normo-pondéraux.

Ces résultats illustrent l'important effet de l'attirance sensorielle, notamment pour le gras, sur les consommations alimentaires et le statut pondéral. Ils soulignent également la nécessité de considérer au premier plan la perception hédonique individuelle dans l'étude des comportements alimentaires.

---

**Mots-clés** : déterminants individuels, attirance sensorielle, gras, salé, sucré, statut pondéral, obésité, consommation alimentaire, modèles d'équations structurelles, nutrition, épidémiologie

**Discipline** : Biologie (Epidémiologie - Santé Publique)

**Laboratoire d'accueil** : Equipe de Recherche en Epidémiologie Nutritionnelle (EREN) Centre de Recherche Epidémiologie et Statistique Sorbonne Paris Cité (CRESS-UMR1153) U1153 Inserm/U1125 Inra/Cnam/Université Paris 13, 74 rue Marcel Cachin, 93017 Bobigny, France