

Compréhension des processus cognitifs de traitement de l'information alimentaire chez des individus normo-pondéraux, en surpoids et en obésité : influence d'un amorçage olfactif implicite et rôle des caractéristiques individuelles

Marine Mas

▶ **To cite this version:**

Marine Mas. Compréhension des processus cognitifs de traitement de l'information alimentaire chez des individus normo-pondéraux, en surpoids et en obésité : influence d'un amorçage olfactif implicite et rôle des caractéristiques individuelles. Psychologie. Université Bourgogne Franche-Comté, 2020. Français. NNT : 2020UBFCH020 . tel-03141919

HAL Id: tel-03141919
https://theses.hal.science/tel-03141919

Submitted on 15 Feb 2021

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.

THÈSE DE DOCTORAT DE L'UNIVERSITÉ DE BOURGOGNE FRANCHE-COMTÉ

PRÉPARÉE AU CENTRE DES SCIENCES DU GOÛT ET DE L'ALIMENTATION

Ecole doctorale n°554

Environnement-Santé

Doctorat de Psychologie

Par

Mas Marine

Compréhension des processus cognitifs de traitement de l'information alimentaire chez des individus normo-pondéraux, en surpoids et en obésité : influence d'un amorçage olfactif implicite et rôle des caractéristiques individuelles

Thèse présentée et soutenue à Dijon, le 3 Novembre 2020

Composition du Jury :

Pr., Arvisenet Gaëlle	AgroSup Dijon, Université de Bourgogne Franche-Comté	Présidente du jury
Dr., Capa, Rémi	INU Champollion, Université de Toulouse	Rapporteur
Dr., Péneau, Sandrine	EREN UMR U1153 Inserm, Université Sorbonne Paris Nord	Rapportrice
Pr., Maquestiaux, François	Laboratoire de Psychologie, Université de Franche-Comté	Examinateur
Dr., Val-Laillet, David	INRAE Institut NuMeCan, Université de Rennes	Examinateur
Pr., Ziegler, Olivier	CHU Nancy	Examinateur
Dr., Chambaron, Stéphanie	INRAE UMR CSGA, Université de Bourgogne Franche-Comté	Directrice de thèse
Dr., Brindisi, Marie-Claude	CHU Dijon	Co-directrice de thèse

Résumé en français

Titre : Compréhension des processus cognitifs de traitement de l'information alimentaire chez des individus normo-pondéraux, en surpoids et en obésité : influence d'un amorçage olfactif implicite et rôle des caractéristiques individuelles.

Mots clés : cognition ; obésité ; comportement alimentaire ; surpoids ; attention ; amorçage

Résumé : L'obésité a une origine multifactorielle qui implique des facteurs biologiques, sociaux, psychologiques et environnementaux. Des études ont démontré que des particularités dans le traitement de l'information alimentaire constitueraient un facteur de maintien ou de développement de l'obésité chez certains adultes. Cette vulnérabilité conduirait les individus à avoir des biais attentionnels (*i.e.* tendance à orienter automatiquement leur attention) et un contrôle cognitif moins efficace (*i.e.* une difficulté à contrôler les processus cognitifs) face aux aliments. Ce phénomène serait renforcé par un environnement obésogène : un environnement abondant en nourriture et pauvre en possibilités de se dépenser physiquement. Au cours des cinq études présentées dans ce travail de thèse, les capacités cognitives et olfactives ainsi que les caractéristiques psychologiques d'adultes normo-pondéraux, en surpoids, et en obésité ont été mesurées. Pour mieux comprendre les particularités de traitement de l'information alimentaire, les biais cognitifs face aux aliments ont été mesurés (biais attentionnels et déficit de contrôle inhibiteur). Les participants étaient exposés à des odeurs alimentaires non-attentivement perçues (amorçage implicite) et attentivement perçues (amorçage explicite) afin de représenter les effets de l'environnement obésogène sur ces processus cognitifs. Pour explorer les particularités individuelles influençant le traitement de l'information, les capacités olfactives (identification et détection) et cognitives (inhibition et flexibilité) ainsi que les aspects psychologiques (qualité de vie, style alimentaire, image du corps) ont été caractérisés selon le statut pondéral.

Nos résultats ont mis en évidence que tous les individus avaient un biais attentionnel envers les aliments et un déficit de contrôle inhibiteur face aux aliments en comparaison avec des stimuli neutres. Seul l'amorçage implicite a eu un effet sur les processus cognitifs, ce qui nous a permis de mettre en évidence un effet de cet amorçage spécifique aux processus automatiques. Cet effet était différent en fonction du type d'odeur et du statut pondéral, ce qui a permis de caractériser une vulnérabilité cognitive des individus en obésité aux odeurs d'aliments à haute densité énergétique. Ces stimuli pourraient ainsi agir comme un « modulateur » des processus cognitifs, de façon automatique et non-consciente. Bien que les capacités olfactives ne soient pas différentes en fonction du statut pondéral, les individus avec un Indice de Masse Corporelle élevé semblent avoir de moins bonnes capacités d'inhibition, un processus important dans l'autorégulation du comportement. Ce travail révèle une certaine sensibilité cognitive à l'environnement obésogène chez des individus de statut pondéral plus élevé. Par ailleurs l'utilisation de questionnaires a permis de mettre en avant plusieurs profils d'individus, certains individus semblant moins vulnérables aux conséquences négatives du surpoids et de l'obésité que d'autres. Une meilleure compréhension de l'obésité par la recherche et par la clinique pourrait permettre de prévenir et de prendre en charge l'obésité au niveau individuel, et sociétal.

Résumé en anglais

Title : Understanding the cognitive processing of food information in individuals with normal-weight, overweight and obesity: influence of implicit olfactory priming and role of individual characteristics

Keywords : cognition ; obesity ; eating behaviour ; overweight ; attention ; priming.

Abstract : Obesity has a multifactorial origin that implies biological, social, psychological, and environmental factors. Previous studies have shown that particular cognitive processing of food stimuli could contribute to the maintenance and development of obesity. This vulnerability was characterized by attentional biases (*i.e.* the tendency to automatically orient one's attention) and a decreased inhibitory control (*i.e.* difficulties to control one's cognitive processes) toward foods. This phenomenon may be reinforced by the obesogenic environment: an environment abundant in food and with a lack of options for physical exercise. Among the five studies presented in this work, we characterized olfactory and cognitive capacities, as well as psychological aspects in adults with normal-weight, overweight, and obesity. To get more insight into the features of food information processing, cognitive biases were measured (attentional biases and inhibitory control). Adults were exposed to non-attentively perceived food odours (implicit priming) and attentively perceived food odours (explicit priming) to represent the effects of the obesogenic environment on cognitive processing. To explore individual features that may influence cognitive processing, we measured olfactory (detection and identification) and cognitive (inhibition and flexibility) capacities, as well as psychological aspects (quality of life, eating style, body image).

Our results showed that individuals had an attentional bias toward food as well as decreased inhibitory control toward food, regardless of weight status. Concerning priming, only implicit priming had an impact on cognition, which led us to highlight an effect of implicit priming that was exclusive to automatic cognitive processing. This effect differed as a function of weight status and odour type, which permitted to characterize a cognitive vulnerability to high-energy dense food odours in individuals with obesity. Those stimuli might act as a "modulator" of cognitive processing, in an automatic and non-conscious manner. While olfactory capacities were not different among the weight status groups, individuals with a higher Body Mass Index had lower inhibition capacities, which is of interest in self-regulation of behaviour. Moreover, using questionnaires allowed us to characterize several profiles of individuals, with some being more protected toward the negative consequences of overweight and obesity. Better understanding obesity by research and clinical practice could allow preventing and managing obesity on an individual as well as societal level.

A Mariah,

Remerciements

J'aimerais remercier Gaëlle Arvisenet, Rémi Capa, François Maquestiaux, David Val-Laillet, Sandrine Péneau et Olivier Ziegler pour avoir accepté d'évaluer ce travail en prenant part à mon jury de thèse.

Je souhaite également remercier Eric Bertin, Olivier Corneille, et Claire Sulmont-Rossé pour leur suivi de mon travail au cours des comités de suivi de thèse. Ces réunions ont à chaque fois été un enrichissement pour mon travail, et un plaisir pour moi.

Je remercie Sophie Nicklaus, chef d'équipe, pour son accueil au laboratoire, son intérêt pour les travaux menés et ses conseils précis et pertinents.

Je tiens ensuite à exprimer ma gratitude à mes deux directrices de thèse, Stéphanie Chambaron et Marie-Claude Brindisi pour leur encadrement de qualité et leur soutien sans faille au cours de ces trois années. Stéphanie, je ne pourrais jamais assez te remercier de m'avoir choisie pour ce projet de thèse. Tu m'as permis d'accéder au monde de la recherche, avec mes compétences de « simple » psychologue clinicienne. Merci de ta confiance, mais aussi de ta disponibilité, de ton accompagnement au quotidien, et merci pour tout ce que tu m'as appris. Marie-Claude, je te remercie pour nos échanges enrichissants, tes relectures « œil de lynx » et tes remarques toujours pertinentes qui m'ont permis d'avancer dans la bonne direction. Ton regard clinique a été un grand apport pour moi au cours de ce travail. Merci également de ta disponibilité à tout moment.

J'aimerais particulièrement remercier Claire Chabanet, qui m'a transmis son intérêt pour les statistiques, et également une grande partie des connaissances que j'en ai à l'heure actuelle. Ce travail n'aurait pas été le même sans ton apport et tes conseils avisés. Merci de m'avoir formée, et merci de ta patience lors de ces nombreuses heures de travail ensemble. Dans la lignée des personnes indispensables à ce travail, je pense également à Jacques Maratray, qui a développé informatiquement les deux tâches utilisées pour mesurer les performances cognitives. Un grand merci pour ton travail, ta patience et ta bonne humeur. Je tiens également à remercier ici les participants aux études réalisées, sans qui cette thèse n'aurait tout simplement pas pu être ce qu'elle est.

Merci à toutes les personnes avec qui j'ai pu collaborer au cours de ces trois années : Fabienne Bouillot, Françoise Durey et Christophe Martin pour le recrutement des participants ; Noëlle Béno, et Thierry Thomas-Danguin pour la mise à disposition des tests ETOC ; mes stagiaires Yohann Chaudron et Maya Filhon pour leur aide en laboratoire et lors des séances expérimentales ; Valérie Feyen et Emilie Szleper pour leur aide technique et leur bonne humeur ; Betty Hoffarth pour la retranscription des questionnaires papiers ; Suzanne Rankin pour les relectures en anglais. Merci aussi aux collègues de l'équipe 8 que je n'ai pas encore mentionné, de m'avoir fait découvrir vos domaines de recherche respectifs. Merci pour nos conversations enrichissantes, et les moments agréables passés en congrès, au laboratoire, ou ailleurs.

Indépendamment de la recherche, merci à Renaud Brochard de m'avoir accueillie au sein de son équipe pédagogique à la faculté de psychologie de l'Université de Bourgogne, et merci à Laure-Helène Canette d'avoir été mon binôme pour ces deux années d'enseignements. Je remercie également l'équipe des ateliers d'Éducation Thérapeutique du Patient de l'hôpital d'enfants au CHU de Dijon de m'avoir fait confiance pour la co-création et l'animation de ces quelques séances d'ETP.

Je tiens finalement à remercier ma famille, ceux qui sont toujours derrière moi : Kamel, Maryne, Juliette, Marine, Vincent, Tim, Laura, Jonathan, et Anthea. Un merci spécial à Jeffrey, pour ton soutien quotidien si précieux, et l'effet bénéfique que ta bienveillance a eu sur le bon déroulement de ce travail.

Table des matières

Résumé en français **3**

Résumé en anglais **4**

Remerciements **6**

Table des matières **7**

Liste des figures **10**

Liste des tableaux **11**

Liste des abréviations **12**

Liste des publications présentées **13**

Liste des communications présentées : **14**

Préambule **16**

CHAPITRE I – Contexte théorique **17**

I – 1. La problématique de l'obésité en France et dans le monde **17**

I – 1. 1. Définition et prévalence de l'obésité et du surpoids 17

I – 1. 2. Origines de l'obésité et du surpoids 19

I – 1. 3. Conséquences de l'obésité et du surpoids 27

I – 1. 4. Stratégies de prévention actuelles 34

I – 1. 5. Facteurs cognitifs 40

I – 2. L'interaction individu-environnement : l'origine des comportements **42**

I – 2. 1. Le déterminisme réciproque : environnement, cognition, comportement 42

I – 2. 2. Le traitement de l'information alimentaire 46

I – 2. 3. Différents niveaux de traitement de l'information 53

I – 2. 4. Les biais cognitifs 57

I – 3. L'amorçage olfactif implicite comme réplication expérimentale des effets de stimuli alimentaires non-attentivement perçus de l'environnement. 63

I – 3. 1. L'amorçage 64

I – 3. 2. L'olfaction..... 65

I – 3. 3. L'amorçage olfactif..... 66

I – 4. Apports et objectifs du présent travail de thèse. 69

CHAPITRE II – Statut pondéral et biais attentionnels envers les aliments : impact d'un amorçage olfactif 72

II – 1. Introduction 72

II – 2. Article: Weight status and attentional biases toward foods: impact of implicit olfactory priming. 77

II – 3. Points clés et conclusions 109

CHAPITRE III – Effets d'amorçage implicite sur la réactivité et le contrôle inhibiteur face aux aliments. 111

III – 1. Introduction 111

III – 2. Article: Implicit food odour priming effects on reactivity and inhibitory control towards foods 115

III – 3. Points clés et conclusions..... 147

CHAPITRE IV – Capacités olfactives face à des odeurs alimentaires et non-alimentaires chez des hommes et femmes de statuts pondéraux divers 149

IV – 1. Introduction..... 149

IV – 2. Article: Olfactory capacities toward food and non-food odours in men and women of various weight status 151

IV – 2. Points clés et conclusions :..... 170

CHAPITRE V – Inhibition, flexibilité comportementale, Indice de Masse Corporelle et statut pondéral..... 171

V – 1. Introduction 171

V – 2. Article: Inhibition and shifting across the weight status spectrum. 173

V – 3. Points clés et conclusions 192

CHAPITRE VI – Comportement alimentaire, facteurs psychosociaux et Indice de Masse Corporelle 193

Table des matières

VI – 1. Introduction 193

VI – 2. Article: Psychosocial factors, eating behaviour and Body Mass Index. 194

VI – 2. Points clés et conclusions : 224

CHAPITRE VII – Discussion 225

VII – 1. Le traitement de l'information alimentaire 226

VII – 1. 1. Biais cognitifs : biais attentionnels, déficit de contrôle inhibiteur et réactivité 226

VII – 1. 2. Effets des aliments sur les processus automatiques et contrôlés 232

VII – 2. Effets d'amorçage en fonction du statut pondéral 232

VII – 2. 1. Différence entre les effets d'amorçage implicite et explicite 233

VII – 2. 2. Effets d'amorçage implicite différenciés selon le statut pondéral des individus, le type d'odeur, et le type de processus observé 236

VII – 3. Statut pondéral et profils d'individus 248

VII – 3. 1. Liens observés entre les différentes variables étudiées et un Indice de Masse Corporelle élevé. 248

VII – 3. 2. Mieux caractériser les individus 251

VII – 3. 3. Un environnement obésogène, des individus vulnérables 251

VII – 4. Forces et limites de ce travail 253

VII- 4. 1. Forces et innovations 253

VII- 4. 2. Limites 258

CHAPITRE VIII – Perspectives et conclusions 262

VIII – 1. Futures directions 262

VIII – 1. 1. Prise en compte de la charge cognitive 262

VIII – 1. 2. Meilleure compréhension des obésités 263

VIII – 1. 3. Implications cliniques 265

VIII – 2. Conclusions 271

Références 273

Liste des figures

Figure 1 - Différentes catégories d'Indice de Masse Corporelle..... 17

Figure 2 - Prévalence mondiale du surpoids (orange) et de l'obésité (vert) en 1975 et en 2016 chez les individus de plus de 18 ans, selon l'Organisation Mondiale de la Santé. 18

Figure 3 - Principales comorbidités physiques de l'obésité. 28

Figure 4 - Analyse cognitive et émotionnelle des comportements obésogènes et leurs conséquences sous forme de cercle vicieux. 33

Figure 5 - Panorama des études observant des différences de capacités cognitives globales, ou de capacités cognitives relatives à l'alimentation liées à l'IMC, ou au statut pondéral..... 41

Figure 6 - Le déterminisme réciproque. 44

Figure 7 - Modèle du traitement de l'information..... 51

Figure 8 - Incentive Sensitization Theory, ou "Théorie de la sensibilisation incitative"..... 59

Figure 9 - Le modèle hédonique-inhibiteur de la faim..... 62

Figure 10 - Activation de représentations mentales et influences sur le comportement de choix alimentaires par des odeurs alimentaires non-attentivement perçues 67

Figure 11 - Paradigme d'amorçage olfactif intra-sujet 68

Figure 12 - Schéma de l'interaction individu-environnement dans le cadre de l'alimentation 71

Figure 13 - Représentation schématique du traitement attentionnel « bottom-up » des stimuli en fonction des processus impliqués 229

Figure 14 - Modèle du traitement de l'information alimentaire et illustration du biais d'approche 231

Figure 15 - Différentes hypothèses pouvant expliquer l'influence générale des odeurs sur la cognition..... 239

Figure 16 - Explication de l'effet des odeurs non-attentivement perçues sur le traitement de l'information..... 246

Figure 17 - Illustration des variables étudiées associées à un IMC élevé, expliquées en lien avec la théorie du déterminisme réciproque. 249

Figure 18 - Cercle vicieux des mécanismes de traitement de l'information alimentaire renforcés par un environnement obésogène..... 253

Figure 19 - Explication du nombre d'omissions élevé en lien avec la présence d'une catégorie unique d'images d'aliments à faible densité énergétique : les fruits..... 260

Figure 20 - Classification des obésités selon l'Edmonton Obesity Staging System (E.O.S.S.). 264

Figure 21 - Classification des obésités selon le French Obesity Staging System (F.O.S.S.).. 265

Liste des tableaux

Tableau 1 - Caractéristiques du comportement alimentaire des individus de faible statut socio-économique. 21

Tableau 2 - Exemples de stratégies de prévention primaires mises en place par les différents gouvernements 36

Tableau 3 - Caractéristiques attribuées aux des deux systèmes sous-tendant la cognition..... 54

Tableau 4 - Résumé des effets d'amorçage implicite observés 237

Liste des abréviations

BMI = Body Mass Index

DSM = Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders

ETOC = European Test Olfactory Capabilities

FDE = Faible Densité énergétique

HAS = Haute Autorité de Santé

HDE = High-energy dense / Haute Densité Energétique

IMC = Indice de Masse Corporelle

LDE = Low-energy dense

OMS = Organisation Mondiale de la Santé

TAP = Test of Attentional Performance

TCA = Trouble Du Comportement Alimentaire

VPT = Visual Probe Task

Liste des publications présentées

Articles publiés dans des revues à comité de lecture international (2) :

- **Mas, M.**, Brindisi, M.-C., Chabanet, C., Nicklaus, S., & Chambaron, S. (2019). Weight Status and Attentional Biases Toward Foods : Impact of Implicit Olfactory Priming. Frontiers in Psychology, 10. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.01789

- **Mas, M.,** Brindisi, M.-C., Chabanet, C., & Chambaron, S. (2020). Implicit food odour priming effects on reactivity and inhibitory control towards foods. PLOS ONE, 15(6), e0228830. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0228830

Articles soumis (1) :

- **Mas, M.,** Chabanet, C., Sinding, C., Thomas-Danguin, T., Brindisi, M.-C. & Chambaron, S., (*soumis à Chemical Senses*). Olfactory capacities toward food and non-food odors in male and female adults of various weight status.

Articles en cours de finalisation (2) :

- **Mas, M.,** Chambaron, S., Chabanet, C., Brindisi, M.-C. (*en préparation pour soumission envisagée à Nutrition Clinique et Métabolisme*). Inhibition and shifting across the weight status spectrum.

- **Mas, M.,** Chambaron, S., Chabanet, C., & Brindisi, M.-C. (*en préparation*). Psychosocial factors, eating behaviour and Body Mass Index.

Proceedings (2) :

- **Mas, M.,** Chambaron, S., Chabanet, C., & Brindisi, M.-C. (2020). Capacités d'inhibition et réactivité face à des stimuli alimentaires chez des adultes de statuts pondéraux différents : Impact d'un amorçage olfactif implicite. *Nutrition Clinique et Métabolisme*, *34*(1), 35-36. https://doi.org/10.1016/j.nupar.2020.02.234

- **Mas, M.**, Chambaron, S., Chabanet, C., & Brindisi, M.-C. (2019). Influence d'un amorçage olfactif chez des adultes de statut pondéral différent. *Nutrition Clinique et Métabolisme*, *33*(1), 84-85. https://doi.org/10.1016/j.nupar.2019.01.381

Liste des communications présentées :

Communications orales (3) :

- **Mas, M.*,** Chambaron, S., Chabanet, C., Nicklaus, S., Brindisi, M.C., *Inhibitory control and mental flexibility in adults with normal-weight, overweight and obesity: how do non-attentively perceived odours influence cognition?* Forum des Jeunes Chercheurs, Dijon (France), 13-14 Juin 2019

- **Mas, M.*,** Brindisi M.C., Chabanet, C., Nicklaus, S., Chambaron, S. *Par l'odeur alléchés ? Attention c'est biaisé ! Etude comparative des effets d'amorçage olfactif sur l'orientation attentionnelle des individus normo-pondéraux, en surpoids et obèses.* Journée des Doctorants du Centre des Sciences du Goût et de l'Alimentation, Dijon, France, 18 Décembre 2018

- **Mas, M.**, Brindisi, M.C., Chabanet, C., Chambaron, S.* *Étude exploratoire de l'effet d'un amorçage olfactif sur les biais attentionnels chez des adultes normo-pondéraux, en surpoids et obèses*. 59ème Congrès de la Société Française de Psychologie (SFP), Reims (France), 5-7 Septembre 2018

Communications affichées (6) :

- **Mas, M.*,** Chambaron, S., Chabanet, C., & Brindisi M.C. *Comportement alimentaire, facteurs psychosociaux et Indice de Masse Corporelle.* 37èmes Journées Scientifiques Annuelles de l'AFERO (Association Française d'Etude et de Recherche sur l'Obesité), en ligne, 28-29 Janvier 2021.

- **Mas, M.***, Chabanet, C., Sinding, C., Thomas-Danguin, T., Chambaron, S., Brindisi, M.C. Capacités olfactives face à des odeurs alimentaires et non-alimentaires chez des adultes de statuts pondéraux différents. Journées Francophones de Nutrition, en ligne, 25-27 Novembre 2020.

- **Mas, M.***, Chambaron, S., Chabanet, C., & M-C Brindisi. *Différences de capacités de contrôle cognitif face aux aliments chez des individus normo-pondéraux, en surpoids et en obésité.* 36èmes Journées Scientifiques Annuelles de l'AFERO (Association Française d'Etude et de Recherche sur l'Obesité), Paris (France), 30-31 Janvier 2020. Unpublished. http://rgdoi.net/10.13140/RG.2.2.28629.78563

Liste des communications présentées :

- **Mas, M.***, Chambaron, S., Chabanet, C., Nicklaus, S., Brindisi, M.C. *Influence d'un amorçage olfactif chez des adultes de statut pondéral différent*. 35ème Journées scientifiques de l'Association Française d'Études et de Recherche sur l'Obésité (AFERO), Marseille, 31 janvier-1er Février 2019

- **Mas, M.*,** Brindisi, M.C., Chabanet, C., Chambaron, S. *Attentional biases toward food pictures: influence of olfactory priming and weight status.* 8th European Conference on Sensory and Consumer Research (EuroSense), Verona (Italy), 2-5 September 2018.

- **Mas, M.***, Chabanet, C., M-C Brindisi, & Chambaron, S. *Développement d'une mesure d'orientation de l'attention visuelle vers des stimuli alimentaires : Adaptation de la Visual Probe Task.* 24ème Forum des Jeunes Chercheurs, Besançon (France), 14-15 Juin 2018. Unpublished. http://rgdoi.net/10.13140/RG.2.2.34960.35844

Préambule

Depuis Hippocrate et au fil des siècles, l'obésité a été perçue de façon changeante et n'a cessé d'intriguer les médecins par son caractère morbide (Schlienger, 2015). Aujourd'hui considérée comme une « épidémie » mondiale par l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS), elle est placée à l'extrême du continuum de la malnutrition (WHO, 2020b) et touche presque toutes les populations. Malgré le fait que l'obésité soit au cœur des préoccupations des systèmes de santé publique, il s'agit d'une condition qui pose à l'heure actuelle encore beaucoup de questions, que ce soit par ses origines, ses facteurs de maintien et mais également par le manque de solutions globales efficaces.

La cause la plus évoquée pour expliquer l'obésité est celle d'un dérèglement de la balance énergétique qui résulte d'apports énergétiques trop importants couplés à des dépenses énergétiques trop faibles (*i.e.* une balance énergétique positive). Les raisons de ce dérèglement de la balance énergétique sont multiples et variées, ce qui fait de l'obésité une pathologie aux origines multifactorielles. Parmi ces facteurs, on retrouve des facteurs génétiques, métaboliques, sociaux et psychologiques.

L'obésité, qui concernait majoritairement les pays les plus développés, atteint désormais une prévalence inquiétante, en constante augmentation partout sur le globe depuis 1975. L'accroissement du nombre de personnes en situation d'obésité dans le monde nous amène à nous tourner vers un facteur de développement et de maintien particulier de cette pathologie : l'environnement. En effet, la mondialisation et l'évolution de notre société semblent chronologiquement liées à l'évolution pondérale des populations, et étudier les facteurs environnementaux (comme par exemple, l'abondance de nourriture) constitue une piste d'investigation intéressante qui pourrait permettre d'expliquer l'incoercible croissance du taux d'obésité dans le monde.

CHAPITRE I – Contexte théorique

I – 1. La problématique de l'obésité en France et dans le monde

I – 1. 1. Définition et prévalence de l'obésité et du surpoids

I – 1. 1. 1. Définition

La définition de référence de l'obésité est celle proposée par l'OMS (Organisation Mondiale de la Santé, WHO – *World Health Organization* en anglais), qui considère l'obésité comme une maladie chronique non-transmissible. Selon cet organisme, « le surpoids et l'obésité se définissent comme une accumulation anormale ou excessive de graisse corporelle qui représente un risque pour la santé » (WHO, 2020b). Cette accumulation de graisse peut être locale (organes, abdomen), globale, ou bien les deux à la fois (Purnell, 2000).

IMC	Statut pondéral	Risque
< 18.5	Maigreur	Élevé
≥ 18.5 et < 25	Normal	Moyen
≥ 25 et < 30	Surpoids	Augmenté
≥ 30 et < 35	Obésité de grade I, ou « obésité modérée »	Modéré
≥ 35 et < 40	Obésité de grade II, ou « obésité sévère »	Sévère
≥ 40	Obésité de grade III, ou « obésité morbide »	Très sévère

$$IMC = \frac{poids\ (kg)}{taille\ (m)^2}$$

L'indicateur le plus répandu pour mesurer l'obésité adulte est **l'Indice de Masse Corporelle (IMC).** Il correspond au poids (en kilogrammes) de l'individu divisé par sa taille (en mètres) au carré. L'IMC exprime la masse de l'individu en kilogrammes par mètre carré et permet de diviser la population en plusieurs catégories de statut pondéral.

- **Créé en 1972,** l'IMC n'a pas une visée diagnostique de la masse adipeuse mais une **visée pronostique des complications de santé** associée à celle-ci.
- L'IMC a été **adopté par l'OMS comme indicateur de statut pondéral en 1997** afin d'évaluer les risques de morbi-mortalité des patients adultes. De **nouvelles classifications de statut pondéral émergent**, ainsi que **de nouvelles manières de mesurer les risques liés à l'obesité** (tour de taille, ratio taille-hanche, pourcentage de masse grasse). Néanmoins, l'Indice de Masse Corporelle reste l'indicateur le plus simple à mesurer en pratique clinique et le plus utilisé.

Figure 1 - Différentes catégories d'Indice de Masse Corporelle. Références de la figure : Guy-Grand, 2008; Nuttall, 2015; Schlienger, 2015.

I – 1. 1. 2. Prévalence

A l'échelle mondiale, **1,9 milliards d'adultes** étaient en surpoids ou en obésité en 2016 (WHO, 2020a, **Figure 2**). En France, en 2015, ce sont **17%** des adultes de 18 à 74 ans qui étaient en obésité selon l'Étude ESTEBAN (Étude de SanTé sur l'Environnement, la Biosurveillance, l'Activité physique et la Nutrition), sans distinction de prévalence entre hommes et femmes. (Verdot et al., 2017)[1]. Dans cette étude française, les chiffres s'élevaient à **37%** des hommes et **27%** des femmes pour le surpoids. Au total, près de la moitié des adultes (**49%**) étaient en surpoids ou en obésité, avec un IMC moyen de **25.8kg/m².** La prévalence de l'obésité en France est plus élevée après 40 ans, et concerne plus les hommes que les femmes. Des projections de l'obésité sur les dix prochaines années prédisent que la proportion d'individus en obésité va continuer de s'accroître dans tous les pays (OECD, 2017).

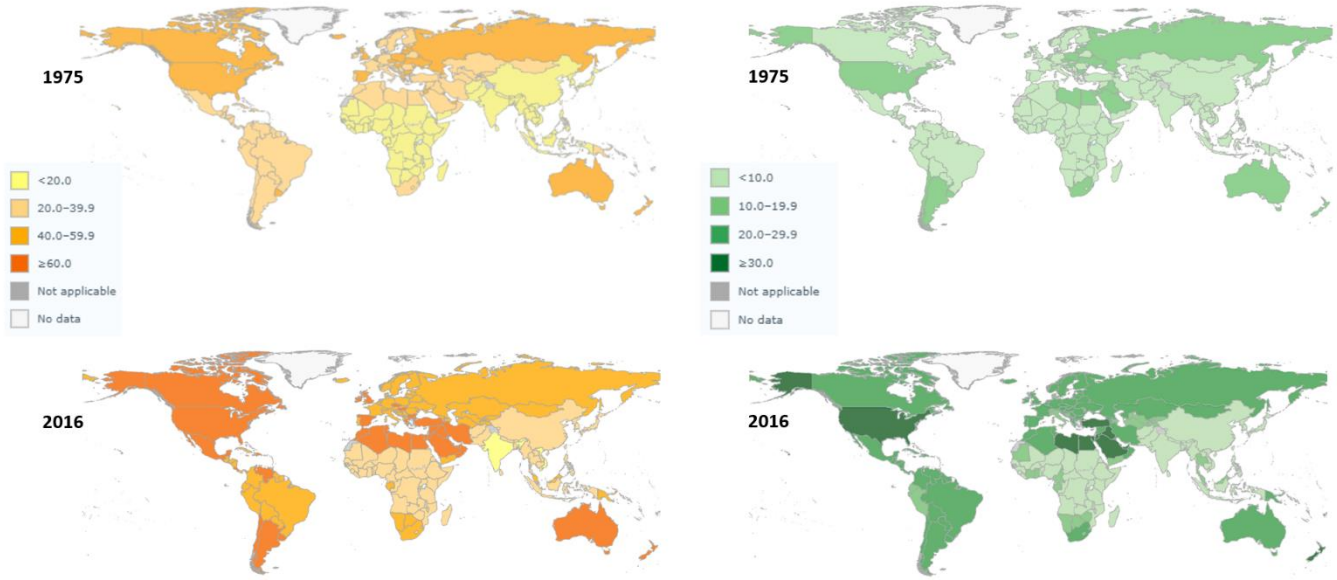


Figure 2 - Prévalence mondiale du surpoids (orange) et de l'obésité (vert) en 1975 et en 2016 chez les individus de plus de 18 ans, selon l'Organisation Mondiale de la Santé. Références de la figure : WHO, 2020a.

[1] Des données issues de l'Observatoire Mondial de la Santé estiment que l'obésité représentait 21% de la population en France, en 2016, tous sexes confondus (WHO, 2020c).

I – 1. 2. Origines de l'obésité et du surpoids

L'obésité est une pathologie multifactorielle. Certains aspects génétiques et sociaux créent une prédisposition à l'obésité chez certains individus, tandis que des facteurs environnementaux et psychologiques semblent contribuer à son maintien. L'interaction de tous ces facteurs permettent d'établir que l'obésité a une étiologie complexe, dont le rôle de chaque déterminant n'est pas encore exhaustivement connu. De nos jours, il est plus juste de parler *des obésités* plutôt que de l'obésité, tant les déterminants et les phénotypes de celle-ci varient d'un individu à l'autre. En effet, selon le Professeur Bernard Guy-Grand, « *Surpoids et obésité sont des situations chroniques sans tendance spontanée à la régression une fois qu'elles sont constituées et cliniquement très hétérogènes. Cette hétérogénéité entre les sujets obèses (aussi manifeste que celle existant entre les sujets normaux) est telle qu'il conviendrait toujours de parler « des obésités* » (Guy-Grand, 2008).

I – 1. 2. 1. Hérédité et prédisposition

Facteurs génétiques

La prédisposition génétique de l'obésité correspond à la plus forte susceptibilité d'un individu à prendre du poids dans un contexte environnemental donné (Haute Autorité de Santé, 2011a). L'obésité est une condition multigénique, en dehors de quelques cas exceptionnels d'anomalies monogéniques ou syndromiques.

On peut classer les formes de l'obésité génétiques en trois formes principales :

Obésité monogénique : obésité causée par la mutation d'un seul gène, qui va perturber les systèmes de régulation de l'appétit et du poids (Thaker, 2017).

Obésité syndromique : obésité de cause génétique, qui est associée à d'autres caractéristiques phénotypiques, comme des troubles neuro-développementaux et des malformations[2].

[2] A titre d'exemple, le type d'obésité syndromique le plus commun est le syndrome de Prader-Willi, constitué de symptômes relatifs à des déficiences hormonales, une hypotonie, un développement psychomoteur atypique, une dysmorphie faciale et des troubles du comportement alimentaire.

Obésité polygénique : obésité causée de manière épigénétique, c'est-à-dire dans ce cas précis, par un grand nombre de gènes dont les effets sont amplifiés dans un environnement donné. Il s'agit du cas supposé le plus fréquent de prédisposition génétique à l'obésité. Cette étiologie de l'obésité attire l'attention des chercheurs : elle permettrait partiellement d'expliquer l'accroissement du taux d'obésité par des modifications biologiques liées à notre environnement.

Facteurs socio-économiques :

En dehors des caractéristiques génétiques héréditaires, le second déterminant transmis de l'obésité est socio-économique. En effet, les parents en surpoids ont une probabilité plus grande d'avoir un enfant en surpoids ou en obésité (McLoone & Morrison, 2014). De plus, 80% des adolescents en obésité le seront toujours à l'âge adulte[3] (Simmonds et al., 2016). Ce phénomène d'hérédité a une explication génétique, mais également une explication sociale : les comportements d'un individu en matière de santé vont dépendre de sa catégorie sociale d'origine, et se perpétuer par transmission de l'adulte à l'enfant (Darmon, 2008).

Statistiquement, c'est dans les catégories de statut socio-économique les plus faibles (faibles revenus, peu d'années de scolarisation, précarité de l'emploi ou faible catégorie socio-professionnelle) que l'on trouve les plus hauts taux de surpoids et d'obésité (Verdot et al., 2017). En effet, une condition sociale défavorisée peut amener les individus à se focaliser sur les bénéfices immédiats de leurs comportements plutôt que sur leur longévité future : un style de vie fataliste qui favorise les comportements allant à l'encontre de l'activité physique et d'un équilibre alimentaire (Cutler & Lleras-Muney, 2010; Pampel et al., 2010). Par conséquent, un faible statut socio-économique est souvent prédictif d'un faible niveau d'activité physique, ainsi que d'une sédentarité élevée avec un déséquilibre de la balance énergétique. L'alimentation des populations les moins favorisées est caractérisée par une forte densité énergétique (beaucoup de féculents, de produits transformés) et une faible densité nutritionnelle (peu de fibres, de micronutriments essentiels, éléments que l'on trouve principalement dans les fruits et les légumes) (Darmon, 2008). Cela induit un plus fort risque d'obésité parmi ces classes sociales,

[3] Dans une méta-analyse, Simmonds et collaborateurs observent néanmoins que 70% des adultes en obésité ne l'étaient ni dans l'enfance, ni dans l'adolescence (Simmonds et al., 2016).

dont le comportement délétère pour la santé favorise le déséquilibre de la balance énergétique **(Tableau 1)**.

Tableau 1 - Caractéristiques du comportement alimentaire des individus de faible statut socio-économique. Références de la figure : [1] Pampel et al., 2010 ; [2] Darmon, 2008 ; [3] Anses - Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail, 2017 ; [4] Fagerberg et al., 2019

Caractéristiques du comportement alimentaire des individus de faible statut socio-économique.	
Apports énergétiques	- Moins de consommations d'aliments recommandés pour la santé (fruits, légumes, aliments complets) [3] - Moins de variétés dans les apports en micronutriments [2] - Plus de boissons sucrées [2,3] - Densité énergétique des apports plus élevée [2] - Pouvoir d'achat moins élevé pour les aliments sains [2]
Dépenses énergétiques	- Plus de sédentarité [1] - Moins d'activités physiques de loisir [1,3]
Aspects cognitifs	- Focalisation sur les buts à courts termes [1] - Plus d'exposition à la publicité pour les aliments à haute densité énergétique [4]
Aspects comportementaux	- Plus de repas devant la télévision [2] - Saut de repas plus fréquents [2] - Grignotage plus fréquent [2]

Selon Cutler et Lleras-Muney, 2010, le statut socio-économique (déterminé par les revenus du foyer et la catégorie sociale d'origine) compte pour 30% des capacités à assurer des comportements de santé effectifs, comme avoir un régime alimentaire équilibré et une activité physique suffisante (Cutler & Lleras-Muney, 2010). Par ailleurs, le niveau d'éducation augmente l'efficacité des capacités de résolution de problèmes, la capacité à traiter l'information et le locus de contrôle nécessaire à éviter les comportements délétères pour la santé (Mirowsky & Ross, 2003). Le facteur socio-économique est donc intrinsèquement lié aux facteurs psychologiques et cognitifs de développement et de maintien de l'obésité.

I – 1. 2. 2. Facteurs psychologiques

Des recherches se sont intéressées aux aspects psychologiques de l'obésité. En effet, certains traits de personnalité, styles cognitifs, ou psychopathologies peuvent déclencher ou contribuer à l'obésité par des mécanismes émotionnels. Ces causes psychologiques sont à différencier des conséquences psychologiques de l'obésité qui seront décrites en section **I – 1 . 3. 3**.

Traumatismes

La présence d'un ou plusieurs traumatismes[4] passés dans l'enfance, l'adolescence ou la vie adulte constituent une potentielle cause explicative d'obésité. De nombreuses études montrent qu'un vécu traumatique passé peut-être prédictif de l'IMC à l'âge adulte. Lorsque des émotions négatives sont déclenchées, un glissement vers une cognition de bas-niveau est effectué, ce qui peut entraîner une levée de l'inhibition favorisant les épisodes de sur-consommation alimentaire (Palmisano et al., 2016).

Rejet du corps

La société impose aux individus un modèle social de minceur et les corps gros sont rejetés par la société. Il apparaît nécessaire de rester mince, et l'injonction à la perte de poids est très fréquente. On retrouve ces diktats dans les médias, mais ils sont également véhiculés par la famille et les pairs (Herman & Polivy, 2002). Cela va amener les individus à exercer un contrôle sur leur morphologie, même lorsque leur poids ne leur cause pas de problème de santé. Dans le cas du surpoids, les individus tendent à considérer leur corps comme étant indésirable, les conduisant à vouloir maigrir à tout prix, par le biais de régimes plus ou moins restrictifs qui vont enclencher une prise de poids souvent irréversible. Le rejet du corps s'accompagne d'une baisse de l'estime de soi et d'une mauvaise image du corps. L'importance de la perte de poids pour ces personnes et leur implication dans celle-ci va souvent amener les individus à adopter un style cognitif dit « restrictif » (Basdevant & Farah, 2011).

Alimentation émotionnelle

En réponse aux émotions, la prise alimentaire est une stratégie qui consiste à répondre aux émotions fortes par un affect positif, le plaisir alimentaire. La réponse comportementale aux émotions est dans ce cas caractérisée par l'ingestion d'aliments palatables (*i.e.* nourriture apportant du plaisir alimentaire, souvent à haute densité énergétique) : ces prises alimentaires « hédoniques » sont déconnectées des sensations de faim et de satiété.

[4] Par traumatisme, il est entendu ici : un ou plusieurs évènement(s) traumatique(s), tel que des violences physiques, sexuelles ou psychologiques, accidents traumatiques, exposition à la violence domestique, négligence, ou bien ses conséquences, comme par exemple le syndrome de Stress Post-Traumatique (SSPT).

Les émotions enclenchant une prise alimentaire sont souvent négatives (l'anxiété, la frustration, la tristesse, la colère, ou la honte par exemple), mais une prise alimentaire peut également être engendrée suite à des émotions positives (joie, enthousiasme) (Bongers et al., 2013; Wong & Qian, 2016). Ce comportement est présent chez tous les individus, mais il est dysfonctionnel ainsi que propice au développement de l'obésité lorsqu'il devient habituel et compulsif (Moore et al., 2017). L'alimentation émotionnelle semble se développer à l'adolescence, lors de la mise en place des mécanismes de régulation émotionnelle : les individus apprennent alors à rechercher des sensations de plaisir dans l'alimentation afin de contrecarrer les effets négatifs des émotions expérimentées, ou bien afin de s'auto-stimuler. Ces mécanismes sont comparables à ceux que l'on retrouve dans les comportements addictifs, et mènent inévitablement à des prises alimentaires déséquilibrant la balance énergétique (Jáuregui-Lobera & Montes-Martínez, 2020)

Restriction cognitive

La restriction cognitive correspond à l'intention de contrôler ses apports caloriques en s'imposant un ensemble d'obligations et d'interdictions alimentaires dans le but de maigrir ou de ne pas grossir (Tuschl, 1990). De par les diktats de notre société qui poussent à idéaliser les corps minces, le désir d'une perte de poids à tout prix va amener les individus à exercer un contrôle excessif sur leur alimentation (Herman & Polivy, 2002). Ces épisodes de restriction sévère vont favoriser la désinhibition alimentaire et amener à des prises alimentaires compulsives qui ont souvent pour conséquence des sentiments et émotions négatifs comme la culpabilité, la honte, le dégoût, l'anxiété ainsi que la tristesse (Herman & Polivy, 2002).

La notion centrale de la restriction cognitive est que les mécanismes cognitifs (pensées et croyances autour de l'alimentation) vont prédominer sur les mécanismes régulateurs de l'alimentation. Ainsi, les signaux physiologiques (faim, homéostasie énergétique et des micronutriments) et les émotions vont avoir tendance à être effacés au détriment des pensées à caractère obsessionnel qui visent à contrôler l'alimentation (croyances alimentaires) (Herman & Polivy, 2002). Cet état de restriction amène souvent à un état de désinhibition, une perte de contrôle guidée par les émotions qui se manifeste le plus souvent sous forme d'hyperphagie. Cette désinhibition alimentaire s'accompagne d'un sentiment de culpabilité et de honte, ainsi que d'un retour à une restriction cognitive rigide. Ce processus engendre un cercle vicieux qui peut déclencher des tendances à l'hyperphagie et amener les individus à prendre du poids

jusqu'à l'obésité (Herman & Polivy, 2002; Price et al., 2015). De par les perturbations psychologiques influençant le comportement alimentaire, le désir de perte de poids et les mesures diététiques amaigrissantes sembleraient aggraver les problèmes de surcharge pondérale plus souvent qu'ils ne les résolvent (Anses - Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail, 2010). La restriction cognitive est également insidieuse car elle répond à des normes sociales, celles du « bien manger » et d'être sain que l'on retrouve fréquemment dans les régimes prescrits pour arrêter la prise de poids ou permettre la perte de poids dans l'obésité (Basdevant & Farah, 2011; Tuschl, 1990).

Conclusions

Les causes psychologiques de l'obésité sont indissociables de leurs conséquences car d'une part, les facteurs psychologiques à l'origine de l'obésité sont difficilement observables, et d'autre part, ils entraînent des cercles vicieux complexes et variables d'un individu à l'autre.

Ainsi, une relation dysfonctionnelle avec la nourriture pourrait permettre d'expliquer l'origine de certains cas d'obésité. Au vu de la diversité des facteurs psychologiques pouvant contribuer à l'obésité, ainsi que la complexité de leurs intrications, il est important de ne pas définir cette pathologie par un type de personnalité ou un style cognitif particulier (Machaux-Tholliez, 2011). Les facteurs psychologiques ne sont ainsi pas à dissocier des prédispositions à l'obésité. Il est également important de les interpréter dans le contexte des interactions que l'individu a avec son environnement.

I – 1. 2. 3. Facteurs environnementaux

Depuis plus d'une vingtaine d'années, les chercheurs se sont intéressés aux influences que le milieu de vie, les opportunités et les conditions de vie avaient sur le taux d'obésité des populations. Ainsi, en 1999 est défini le terme d'*environnement obésogène* : un environnement qui encourage les choix alimentaires délétères pour la santé et réduit la probabilité de pratiquer une activité physique (Swinburn et al., 1999).

Modifications sociétales de l'environnement

Dans plusieurs pays « développés »[5], à partir de la fin des années 1970, la production d'aliments à haute densité énergétique, ultra-transformés et promus par le marketing s'est multipliée. L'augmentation de l'accessibilité de nourriture calorique palatable, via un prix peu onéreux et une attractivité engendrée par la publicité, est considérée comme l'un des déterminants clés de la prévalence mondiale d'obésité (Swinburn et al., 2011). Par ailleurs, depuis les années 1950 dans ces pays, les individus sont de plus en plus sédentaires, et les activités physiques intenses appartiennent désormais davantage aux loisirs qu'à une occupation professionnelle contraignante (Cohen, 2008b). Cela mène à des niveaux totaux d'activité physique plus bas, et à de plus forts taux d'obésité (Brownson et al., 2004; Lakdawalla & Philipson, 2007).

Conjointement, ces phénomènes semblent correspondre à la fois chronologiquement et géographiquement à l'élévation du taux d'obésité mondiale. Les facteurs environnementaux constituent ainsi un aspect non-négligeable à étudier dans le cadre de l'obésité. Dans la littérature, ces facteurs environnementaux sont principalement divisés en deux parties : l'environnement bâti (constructions, occupation du territoire, systèmes de transports) et l'environnement alimentaire (disponibilité et accès aux aliments, publicité et marketing alimentaires) (Lake & Townshend, 2006).

Environnement bâti

Des études s'intéressant à l'aménagement du territoire ont montré que la possibilité de pouvoir marcher dans l'environnement, ainsi que la présence d'espaces verts étaient négativement corrélés à l'IMC, et que l'environnement bâti pouvait influencer le statut pondéral des individus (Drewnowski et al., 2020). Par ailleurs, la diminution des possibilités de faire de l'exercice physique, comme par exemple, via la présence d'escalators plutôt que d'escaliers ou bien par l'utilisation de moyens dématérialisés pour la communication, encouragent les individus à se dépenser moins à leur insu (Cohen, 2008b; Drewnowski et al., 2020; Westfall & Fernald, 2010). Une autre influence de l'environnement bâti se situe dans la diversité des sources d'approvisionnement alimentaires: la présence de supermarchés (proposant souvent une grande

[5] Par pays « développés », il est entendu ici : les pays qui ont achevé leur transition démographique (taux de mortalité et de natalité faibles) ainsi que leur transition technologique (mécanisation et industrialisation).

variété de produits alimentaires) semble favoriser un régime alimentaire de bonne qualité nutritionnelle, tandis que la proximité d'établissements de restauration rapide et d'épiceries (proposant souvent des aliments non-périssables de faible qualité nutritionnelle et à haute densité énergétique) sont associés à un régime alimentaire obésogène (Cohen, 2008b; Drewnowski et al., 2020).

Environnement alimentaire

L'environnement bâti et l'environnement alimentaire sont étroitement liés. En effet, l'accessibilité des aliments à haute densité énergétique, de par leur disponibilité et leur faible coût, est un facteur environnemental important qui a modifié l'IMC des individus au cours du temps (Swinburn et al., 2011).

Ce phénomène est relié à ce que certains chercheurs nomment 'la transition nutritionnelle' (Popkin, 1998) : l'offre alimentaire est plus dense énergétiquement, plus calorique et de moins bonne qualité nutritionnelle, tout en étant moins chère et très accessible (supermarchés). Elle contient plus de gras, de sucres, de viandes et de céréales raffinées, ce qui a un effet sur l'équilibre du régime alimentaire (Popkin, 2001; Townshend & Lake, 2017). En plus d'être abondante, l'offre alimentaire est également plurielle : les lieux spécialisés ne sont plus les seuls à commercialiser des aliments, si bien qu'il est possible de trouver des aliments disponibles dans tous types de commerces, un aspect qui, en plus de la baisse des prix des aliments, contribue à renforcer leur accessibilité (Cohen, 2008b). Par ailleurs, les repas sont de moins en moins cuisinés à partir de produits frais, et de plus en plus consommés en extérieur, induisant une plus grande densité énergétique des aliments consommés (Swinburn et al., 2011). Dans ce même contexte, les portions servies ont augmenté depuis plusieurs années (Cohen, 2008b), ce qui amène d'autant plus facilement les individus à la surconsommation (B. J. Rolls et al., 2002).

Le marketing autour de l'alimentation est également un facteur environnemental qui a un impact sur l'obésité. Il va influencer la perception que les consommateurs ont des propriétés des aliments qu'ils consomment, que ce soit au niveau du goût, de l'aspect, mais également au niveau de la densité énergétique ainsi que des bénéfices pour la santé qu'ils peuvent conférer (Chandon & Wansink, 2012). La publicité autour des aliments est très présente dans notre société, dans les médias, mais aussi sur les réseaux sociaux et dans l'espace public (affichages,

flyers, etc.). Elle concerne principalement des aliments gras, salés et sucrés comme les céréales, les confiseries et le prêt-à-manger (Batada et al., 2008).

L'omniprésence de stimuli alimentaires dans notre environnement amène les individus à ressentir une faim « artificielle » et à être stimulés dans leur consommation (Cohen, 2008b; Spence et al., 2016). Conjointement, comme évoqué ci-dessus, ce même environnement offre aux individus la possibilité de consommer avec facilité des aliments de mauvaise qualité nutritionnelle dans de grandes portions, ce qui conduit également à la surconsommation (B. J. Rolls et al., 2002).

Ainsi, plusieurs causes peuvent être à l'origine de l'obésité, mais également constituer des facteurs de maintien. Quelles que soient les causes de l'obésité, le traitement proposé comprend classiquement, en première ligne de traitement, une intervention nutritionnelle combinée à de l'activité physique (Haute Autorité de Santé, 2011b).

Par ailleurs, les conséquences de l'obésité sur la santé des individus, et sur la société au niveau global sont également importantes à prendre en compte. Néanmoins, l'intrication des causes de l'obésité avec les conséquences qu'elle engendre sont un phénomène complexe, comme schématisé dans la **Figure 4.**

I – 1. 3. Conséquences de l'obésité et du surpoids

I – 1. 3. 1. Conséquences physiques et mortalité

Selon l'OMS, près de 2,8 millions de personnes décèdent chaque année du fait de leur surpoids ou de leur obésité. En effet, la plupart de la population mondiale vit dans des pays où le surpoids et l'obésité font davantage de morts que l'insuffisance pondérale (WHO, 2020b).

L'obésité a des conséquences physiques sur tous les organes du corps, atteignant les fonctions cardiaques, respiratoires, reproductrices et métaboliques des individus (**Figure 3**). Ces nombreuses comorbidités détériorent la santé des individus, réduisant leur espérance de vie ainsi que leur autonomie. L'obésité s'accompagne également fréquemment de troubles du sommeil, de troubles articulaires, ainsi que d'une difficulté à réaliser des activités physiques. Ces conséquences tendent à renforcer les mécanismes de prise de poids. Par ailleurs, l'obésité est un facteur de risque pour de nombreux cancers et troubles du métabolisme (dyslipidémie,

diabète de type 2). Les individus en obésité ont ainsi une mortalité plus élevée que les individus normo-pondéraux (Abdelaal et al., 2017).

Les individus en obésité prennent également plus souvent des traitements médicamenteux et tendent à souffrir d'une atteinte fonctionnelle qui peut rendre difficiles les activités du quotidien, comme marcher ou monter les escaliers (Abdelaal et al., 2017).

Dans le domaine de l'emploi, l'obésité peut, dans les cas les plus altérants du fonctionnement de l'individu, être considérée comme un handicap. En effet, selon la Cour de Justice de l'Union Européenne (CJUE), « *l'état d'obésité du travailleur concerné entraîne une limitation, résultant notamment d'atteintes physiques, mentales ou psychiques, dont l'interaction avec diverses barrières peut faire obstacle à la pleine et effective participation de cette personne à la vie professionnelle sur la base de l'égalité avec les autres travailleurs et si cette limitation est de longue durée, un tel état relève de la notion de «handicap» au sens de la directive 2000/78* » (Arrêt du 18 Décembre 2014, voir également Ulla, 2015).

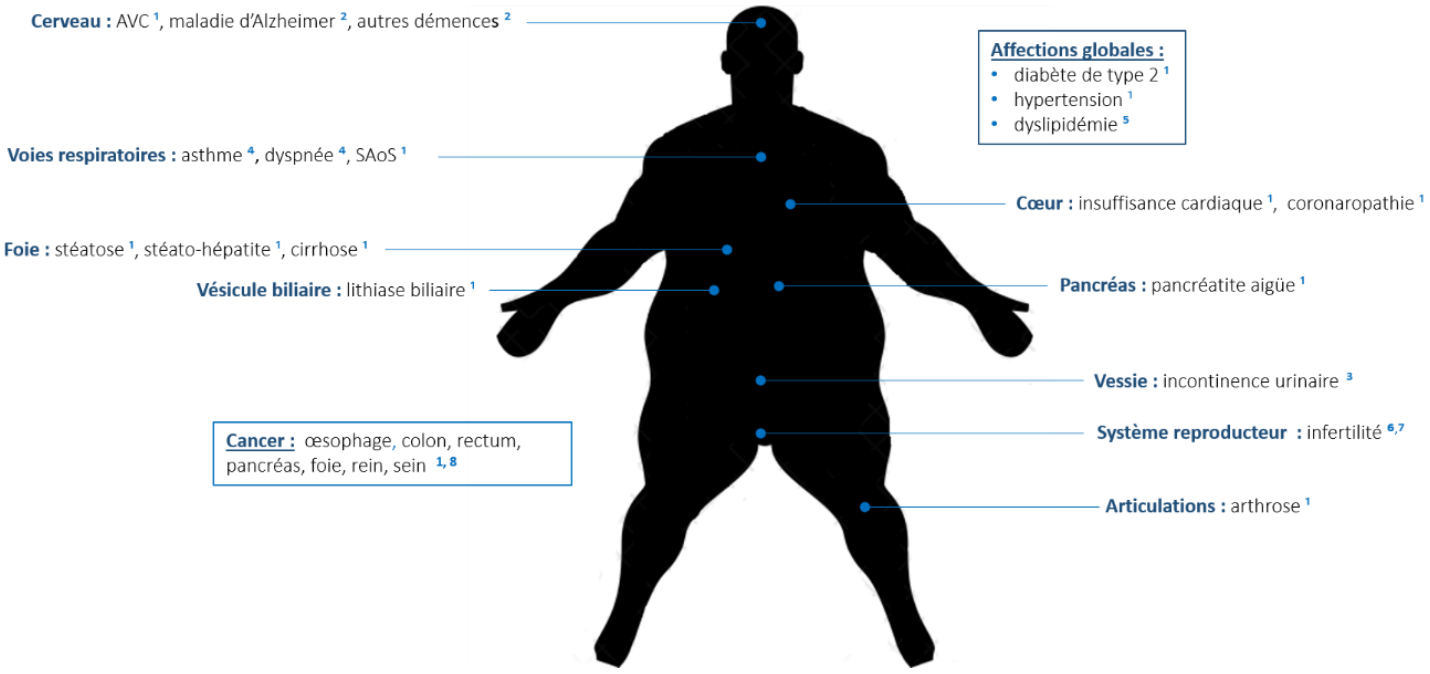


Figure 3 - Principales comorbidités physiques de l'obésité. Références de la figure : [1] Pi-Sunyer, 2009 ; [2] Nguyen et al., 2014 ; [3] Henry Lai et al., 2019 ; [4] Mafort et al., 2016 ; [5] Klop et al., 2013 ; [6] Broughton & Moley, 2017 ; [7] Chambers & Anderson, 2015 ; [8] Calle et al., 2003.

Il est important de noter ici que tous les individus en obésité ne font pas face à toutes les complications de santé mentionnées, et que la santé d'un individu en obésité ne peut pas être basée sur la seule mesure de l'Indice de Masse Corporelle. Les généralités mentionnées ici par rapport à la santé sont de grandes tendances observées sur plusieurs études. Néanmoins, un phénotype particulier de l'obésité, l'obésité métaboliquement saine (Metabollicaly Healthy Obesity - MHO) existe et permet de montrer que certains individus, bien qu'en obésité, ne font pas face à certaines des complications de santé associés à l'obésité (Tomiyama et al., 2016). Le pourcentage d'individus en obésité qui sont « métaboliquement sains » varie de 2 à 78% selon les études. Il est plus élevé chez les femmes et diminue avec l'âge (Matta et al., 2016; van Vliet-Ostaptchouk et al., 2014). Dans la cohorte française Constances (Matta et al., 2016), plus d'une femme en obésité sur deux (52%) avait un phénotype de l'obésité « métaboliquement sain », tandis que ce chiffre était plus bas pour les hommes (26%) (Matta et al., 2016).

I – 1. 3. 2. Conséquences économiques

En prenant en compte la prévalence de l'obésité et du surpoids, ainsi que les coûts de santé liés à la surcharge pondérale[6] et les pertes de bénéfices liés à la baisse de productivité dans le domaine de l'emploi[7], la France dépense annuellement 1% de son Produit Intérieur Brut annuel (plus de 20 milliards d'euros) en lien avec l'obésité, prévention incluse. Ce chiffre se situe entre les dépenses liées à la consommation d'alcool (près de 17 milliards d'euros) et les dépenses liées au tabagisme (près de 27 milliards d'euros), ce qui constitue un coût important pour la société (Cour des comptes, 2019).

I – 1. 3. 3. Conséquences psychologiques

Les conséquences psychologiques de l'obésité sont à différencier des causes psychologiques de l'obésité. Elles sont plurielles et variables d'un individu à l'autre. Certains facteurs, comme par exemple être une femme, être adolescente ou encore avoir recours à des cycles d'hyperphagie-restriction tels que décrits dans la section **I – 1. 2. 2**, semblent augmenter la probabilité qu'un individu vive des conséquences psychologiques négatives en lien avec la surcharge pondérale

[6] Comparaison des dépenses de l'assurance maladie pour la prise en charge d'un individu normo-pondéral avec celle d'un individu en obésité, à pathologie égale.

[7] Absentéisme, moindre insertion sur le marché du travail.

(M. A. Friedman & Brownell, 2002). Comme décrit dans la **figure 4**, les conséquences psychologiques de l'obésité touchent les domaines émotionnel (détresse), cognitif (perturbation de l'image du corps), comportemental (troubles du comportement alimentaire) et également interpersonnel, par la présence de désirabilité sociale plus élevée. Dans cette section, les conséquences psychologiques d'une surcharge pondérale (surpoids ou obésité) déjà installée chez l'individu seront détaillées, afin de mieux comprendre comment cette situation peut se maintenir et créer une détresse psychologique chez les individus avec un IMC plus élevé.

Troubles du comportement alimentaire

Les épisodes d'hyperphagie boulimique sont des moments où la personne va consommer une grande quantité de nourriture en une période de temps restreint, s'accompagnant d'un sentiment de perte de contrôle sur l'acte alimentaire. Lors des régimes successifs pour perdre du poids qui constituent souvent l'historique des patients en obésité, ceux-ci apprennent à suivre des règles et habitudes alimentaires allant à l'encontre de leurs signaux de faim et de satiété (F. Johnson et al., 2012), ce qui favorise la survenue d'épisodes d'hyperphagie boulimique (Yanovski, 2002). Ces derniers constituent un trouble dès lors qu'ils sont fréquents (à partir d'un épisode par semaine), persistent dans le temps (à partir de trois mois de durée) et sont marqués d'une détresse significative pour l'individu. L'hyperphagie boulimique, ou *Binge Eating Disorder* en anglais, se caractérise par des prises alimentaires plus rapides qu'à l'habitude, solitaires, en l'absence de faim, et allant jusqu'à un sentiment d'inconfort, s'accompagnant d'un dégoût de soi, de culpabilité et d'affects dépressifs (American Psychiatric Association, 2013). Les individus présentant une hyperphagie boulimique sont 3 à 6 fois plus souvent en obésité que les individus sans troubles du comportement alimentaire et la prévalence de cette pathologie chez les individus en attente de chirurgie bariatrique varie de 4 à 47% selon les études (McCuen-Wurst et al., 2018).

Insatisfaction corporelle

La surcharge pondérale amène les individus à ressentir une insatisfaction corporelle élevée, qui constitue souvent la première motivation à perdre du poids, surtout chez les femmes. Ce phénomène est notamment lié à des stéréotypes négatifs sur l'excès pondéral qui sont largement diffusés socialement : une étude a par exemple démontré que plus de 70% des images représentant des personnes en obésité diffusées dans des médias traitant de l'actualité étaient

associées à des stéréotypes négatifs (Heuer et al., 2011). L'insatisfaction corporelle fréquemment ressentie par les individus en surcharge pondérale s'accompagne d'une détresse prononcée et ne semble pas s'améliorer avec la perte de poids (Larkin & Martin, 2017). De plus, les comportements caractéristiques de la dysmorphophobie décrits dans le DSM-5[8] (American Psychiatric Association, 2013) sont des comportements liés à des préoccupations corporelles typiquement observés chez le patient souffrant d'obésité : comparaison de son apparence avec autrui, vérification des défauts perçus de manière excessive, recherche de réassurance et dissimulation des défauts perçus (vêtements, maquillage), mais également recherche d'interventions cosmétiques afin d'y pallier (Larkin & Martin, 2017). Les complications psychosociales de l'obésité impactent l'image du corps, ce qui fait de la dysmorphophobie une comorbidité reconnue parmi les patients en obésité.

Conséquences émotionnelles

Sur les plans cognitifs et émotionnels, l'estime de soi des individus en surpoids ou en obésité est plus basse que celle des individus normo-pondéraux, ce qui amène à plus de risques de développer des troubles psychologiques tels que les troubles anxieux ou dépressifs (Conradt et al., 2008). Les troubles dépressifs, par exemple, semblent être plus présents et plus sévères chez les individus en obésité (Sarwer & Polonsky, 2016). Sur un plan moins spécifique, des études montrent que les individus en surcharge pondérale ressentent plus souvent des émotions négatives, comme le stress (Cserjési et al., 2009). Par ailleurs, la plupart des régimes qui constituent fréquemment l'historique des patients en surpoids ou en obésité montrent une inefficacité à long terme et semblent renforcer la restriction cognitive ainsi que la désinhibition, s'accompagnant d'une baisse d'estime de soi et de détresse psychologique qui tendent à favoriser l'échec du régime et la reprise de poids (Basdevant & Farah, 2011).

Discrimination

Les personnes en surpoids et en obésité sont fréquemment victimes de discrimination liée à la forme de leur corps (appelée grossophobie) dans leurs relations à autrui : que ce soit dès leur plus jeune âge, dans leur scolarité ou en situation d'embauche. En effet, le surpoids est associé

[8] Le DSM, ou Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders (DSM) est un ouvrage de référence en psychiatrie qui permet de classifier les troubles mentaux selon des critères diagnostiques stricts et standardisés.

à des stéréotypes tels que la fainéantise, le laisser-aller et le manque d'hygiène (R. M. Puhl & Heuer, 2010), à l'origine de ces comportements de discrimination. Les individus en surpoids ou en obésité sont moins souvent embauchés, et, dans le cadre de l'emploi, moins bien payés ainsi que moins promus (Flint et al., 2016; Kristen, 2002). A diplôme égal, une personne en surpoids sera jugée moins compétente et moins attrayante qu'une personne de statut pondéral normal (Kristen, 2002). Cette conséquence de l'obésité contribue à favoriser la précarité au sein de ces populations, ajoutant de surcroît un facteur de stress supplémentaire (Rubino et al., 2020).

Pour résumer, les individus en surcharge pondérale vivent une plus grande douleur psychologique et ont plus de risques de développer des troubles psychologiques (Sarwer & Polonsky, 2016). Cette conséquence de l'obésité, conjointement avec la volonté de perte de poids, est susceptible d'enclencher la mise en place de mécanismes de coping[9] dysfonctionnels, comme par exemple, l'alimentation émotionnelle et la restriction présentées en section **I – 1. 2.2**. Par ailleurs, les comorbidités psychologiques dont souffrent fréquemment les individus en surpoids et en obésité constituent un facteur entravant la perte de poids.

[9] Les mécanismes de coping sont des stratégies d'ajustement que l'individu va avoir face aux situations. De l'anglais « cope », « faire face à ».

I - 1. 3. 4. Résumé

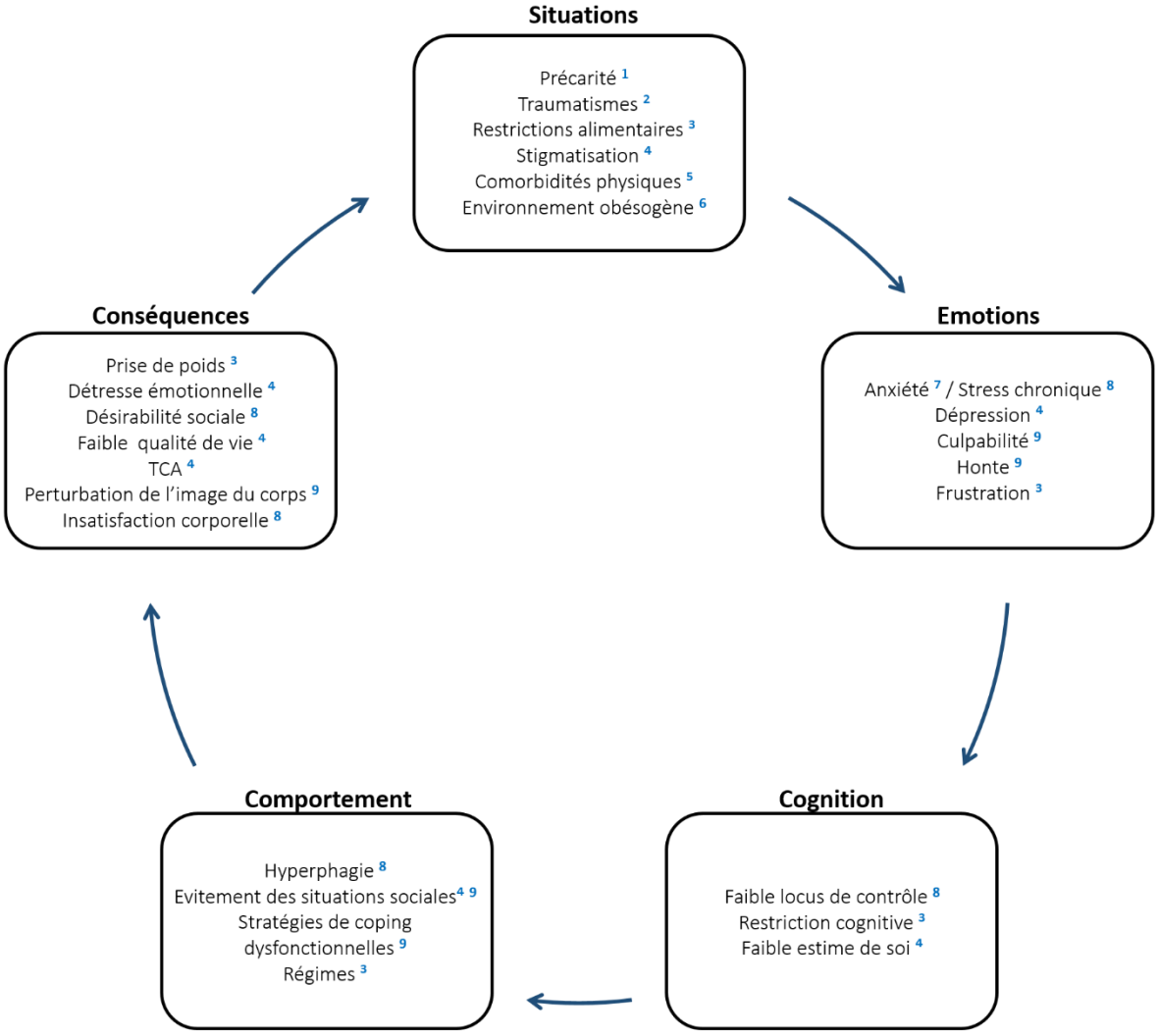


Figure 4 - Analyse cognitive et émotionnelle des comportements obésogènes et leurs conséquences sous forme de cercle vicieux. TCA = Troubles du Comportement Alimentaire. Références de la figure: [1] Lowe, 2005 ; [2] Amiri & Behnezhad, 2019 ; [3] Sarwer & Polonsky, 2016 ; [4] Major et al., 2014 ; [5] Price et al., 2015 ; [6] Palmisano et al., 2016 ; [7] Conradt et al., 2008 ; [8] Pi-Sunyer, 2009 ; [9] Townshend & Lake, 2017

Les parcours de vie des individus en surpoids et en obésité sont par définition, plus complexes que les parcours de vie des individus normo-pondéraux. L'interaction complexe entre conditions de santé invalidantes et obésité engendre des conséquences physiques, psychologiques et sociales. Celles-ci constituent un cercle vicieux qui entrave la perte de poids et, dans certains cas, peuvent mener à une incapacité fonctionnelle ainsi qu'une baisse d'autonomie (Froehlich-Grobe & Lollar, 2011). Par conséquent, les comorbidités de l'obésité conjointement avec la grossophobie subie par les individus sont des mécanismes qui tendent à

précariser les individus en surcharge pondérale (Gortmaker et al., 1993). Cela correspond à un coût pour l'individu, mais également pour la société.

Il apparaît aujourd'hui indispensable d'agir sur le taux d'obésité par des moyens d'action suffisants, des soins adaptés et une prévention efficace. Certaines solutions ont déjà été expérimentées dans plusieurs pays. La prochaine section concerne les stratégies mises en place par les politiques de santé publiques afin de faire diminuer la prévalence de l'obésité, ainsi que leurs forces et limites.

I – 1. 4. Stratégies de prévention actuelles

Le moyen le plus intuitif pour diminuer le taux d'obésité consiste à rétablir l'équilibre de la balance énergétique au niveau individuel : ingérer moins de calories, en combinaison à une activité physique suffisante afin d'engendrer une diminution de la surcharge pondérale et une amélioration des conditions de santé de l'individu. La première ligne de traitement de l'approche recommandée par la HAS (Haute Autorité de Santé, 2011b) est constituée de conseils sur la diététique et l'activité physique, en accompagnement d'une prise en charge psychologique cognitivo-comportementale. Néanmoins peu de personnes en surpoids ou en obésité réussissent à atteindre une perte de poids significativement suffisante par ces biais comportementaux (Hill et al., s. d.).

La chirurgie bariatrique, consistant en une réduction de la capacité de l'estomac, ou bien une dérivation de celui-ci est uniquement accessible aux individus en échec thérapeutique (Haute Autorité de Santé, 2009). Elle constitue une intervention permettant une considérable perte de poids, et donc une solution thérapeutique intéressante pour les patients en obésité. Les patients avec un IMC $\geq$ 40kg/m² (obésité massive), ou un IMC $\geq$ 35kg/m² (obésité sévère) avec comorbidités peuvent ainsi y avoir accès en France sous certaines conditions (Haute Autorité de Santé, 2009). Ce type de chirurgies permet une perte de poids par la diminution de la capacité d'absorption calorique de l'organisme, des modifications hormonales et une diminution de l'appétit. Néanmoins, ces interventions sont coûteuses, et contraignantes pour les patients. Suite à la chirurgie bariatrique, un effet de rebond pondéral se retrouve souvent et plusieurs complications de santé peuvent arriver à la suite de l'opération (Kushner & Sorensen, 2015; Sjöström et al., 2004).

Quand bien même les deux mesures d'action sur l'obésité des individus (recommandations hygiéno-diététiques et/ou chirurgie) constituraient une réussite thérapeutique, les effets de celles-ci ne semblent pas suffisants pour réduire la prévalence mondiale de l'obésité (Hill et al., s. d.). En effet, la réduction de la prévalence de l'obésité au niveau global revient également à empêcher la surcharge pondérale chez les individus qui n'ont pas encore atteint le stade d'obésité par des moyens de prévention plus généraux (**Tableau 2**).

La prévention en termes de santé consiste à éviter l'apparition, le développement ou l'aggravation de maladies (Haute Autorité de Santé, 2006). Elle est classiquement divisée en trois niveaux :

- *Prévention primaire :* action sur les facteurs de risque afin de limiter l'apparition de nouveaux cas (prévention des conduites à risques, action sur les facteurs sociaux, environnementaux).
- *Prévention secondaire :* dépistage précoce et mise en place de moyens pour entraver l'évolution.
- *Prévention tertiaire :* évitement de l'aggravation, diminution du risque de récidive (recommandations hygiéno-diététiques, chirurgie bariatrique avec suivi post-opératoire), traitement des comorbidités (cf **Figure 3**).

Tableau 2 - Exemples de stratégies de prévention primaires mises en place par les différents gouvernements. Références de la figure: [1] Foerster et al., 1995; Heimendinger et al., 1996 ; [2] Hercberg et al., 2008 ; [3] Chantal et al., 2017 ; [4] Corvalán et al., 2019 ; [5] Ludbrook, 2019 ; [6] Olsho et al., 2016 ; [7] Maragkoudias, 2017 ; [8] Groupe d'Etude des Marchés de Restauration Collective et Nutrition (GEM-RCN) et al., 2015

Mode d'action	Stratégies	Exemples de mise en place par le gouvernement
Informations visant à modifier les habitudes de vie	Diffusion de messages de prévention par les médias de masse	• Campagne « five a day » pour encourager les individus à manger plus de fruits et légumes (USA) [1] • Diffusion de messages « manger-bouger » (France) [2]
	Etiquetage des produits	• Gradients de couleur selon la qualité nutritionnelle du produit (Nutri-score en France[3], traffic lights en UK) • Avertissements visuels sur les produits de mauvaise qualité nutritionnelle (Chili) [4]
Interventions de régulation du marché	Taxes alimentaires pour l'industrie	• Taxes sur les boissons sucrées (UK) [5] • Taxe sur les produits gras et sucrés (Danemark, Hongrie) [5]
	Subventions pour la consommation de fruits et légumes	• Implémentation dans le cadre d'un programme national d'aide alimentaire aux personnes défavorisées (USA[6], UK) [5]
Modifications de l'environnement	Limitation du marketing	• Addition d'un message de prévention dans les publicités pour les aliments procéssés (France) [7] • Limitation du temps de publicité télévisée destiné aux aliments gras, sucrés, salés (Irelande) [7]
	Mesures concernant les lieux de vie publics : école, travail, hôpital	• Recommandations pour la qualité nutritionnelle des repas servis en restauration collective (France) [8]

I – 1. 4. 1. Amélioration des choix alimentaires par l'information

Afin d'améliorer les choix alimentaires des individus, plusieurs approches visant directement les consommateurs ont été mises en place par les instances de santé publique. Les recommandations diététiques largement diffusées par les médias de masse, dans l'éducation et par le biais de personnalités influentes sont un moyen simple de promouvoir un mode de vie plus sain en fournissant des informations à un large public. De nouvelles stratégies d'étiquetage des produits alimentaires et d'affichages relatifs à la santé dans les points d'approvisionnement voient le jour, visant à rendre le consommateur plus éclairé concernant la qualité nutritionnelle de ses achats (Cecchini & Warin, 2016).

I – 1. 4. 2. Lois pour l'industrie

Etant donné que le prix d'un aliment reste la première influence sur l'intention d'achat (Anses - Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail, 2009, p. 159), des moyens économiques ont été mis en place afin de diminuer l'impact des

aliments de mauvaise qualité nutritionnelle. Ces mesures peuvent être dissuasives comme par exemple, apposer des taxes sur les produits de mauvaise qualité nutritionnelle (gras, sucrés, salés), ou mettre en place l'obligation d'afficher certains messages nutritionnels sur les produits. Ces moyens ont pour effet de modifier les pratiques de formulation des produits par l'industrie. Ainsi, cette modification des motivations économiques, du côté industriel comme du côté consommateur, a des effets prometteurs pour réduire les choix alimentaires délétères pour la santé (Jaacks, 2019; OECD, 2019).

I – 1. 4. 3. Modification de l'environnement

Afin de permettre aux individus de disposer des conditions optimales pour l'équilibre de leur balance énergétique, des mesures environnementales ont été implémentées dans les politiques de santé. Cela passe notamment par une modification de l'environnement bâti, visant à limiter l'accès à une nourriture de mauvaise qualité nutritionnelle près des écoles, et favorisant par exemple l'installation de supermarchés dans les « déserts alimentaires » aux Etats-Unis (Mozaffarian et al., 2018). D'autre part, plusieurs mesures législatives visant à réguler le marketing pour des aliments de mauvaise qualité nutritionnelle dans l'espace public ont été mises en place (Maragkoudias, 2017).

Ces stratégies ont démontré des effets intéressants, mais souvent difficiles à mesurer, les preuves d'effets significatifs à long terme ne semblent pas témoigner d'une efficacité sur les comportements des individus, ou la prévalence de l'obésité (Inspection générale des affaires sociales, 2016; Jaacks, 2019; Jacquier et al., 2012).

I – 1. 4. 4. Limites des actions existantes

Limites des actions sur les acteurs industriels

Concernant les acteurs industriels, les mesures d'étiquetage des produits et les taxes sur les produits de moins bonne qualité nutritionnelle semblent avoir un effet positif car elles peuvent amener à l'amélioration de la formulation des produits en faveur de la santé des consommateurs (Hancocks, 2018). Néanmoins, la mise en place de telles mesures entraîne des désaccords avec certains acteurs de production, ce qui peut empêcher et limiter leur mise en place (Julia et al., 2018; The Associated Press, 2006). La limitation du marketing constitue également un défi, car celui-ci tend à s'épandre au travers de nouveaux moyens de communication comme par

exemple, dans les jeux vidéo, sur les réseaux sociaux et via des personnalités influentes, ce qui complexifie sa régulation (Mozaffarian et al., 2018).

L'augmentation des prix des aliments de mauvaise qualité nutritionnelle vise à rendre les aliments à faible densité énergétique plus accessibles. Néanmoins, cette stratégie ne semble pas efficace au long-terme (Cornelsen et al., 2015). Les habitudes de consommation étant robustes, des modifications de prix importantes doivent être réalisées afin de mobiliser le consommateur, ce qui constituerait un effet économique négatif pour les populations les plus défavorisées (Cornelsen et al., 2015). Ainsi, bien que le consommateur soit réceptif au prix des aliments, les effets que la variation de celui-ci aura sur ses achats sont plutôt imprévisibles.

Limites des actions sur le consommateur

Les actions de prévention visant directement l'individu, comme la diffusion de messages informatifs, l'étiquetage des produits, et le changement de ses habitudes alimentaires semblent également présenter certaines limites.

Tout d'abord, les individus ne sont pas tous égaux face aux messages de santé : cette notion fait référence au concept de *littéracie*[10]*, i.e.* la capacité d'un individu à obtenir, traiter et comprendre des informations basiques de santé et la manière de les appliquer dans les comportements de santé (Faruqi et al., 2015). Cela s'illustre, par exemple, dans la difficulté des individus, en général, à associer les informations nutritionnelles sur les étiquettes des produits avec la qualité nutritionnelle, traduisant l'efficacité limitée de cette stratégie (Jacquier et al., 2012). Par ailleurs, une faible littéracie est observée plus fréquemment chez les individus de plus faible statut socio-économique (Pampel et al., 2010). Également, plusieurs études montrent qu'il semblerait y avoir un lien négatif entre la surcharge pondérale et la capacité de littéracie des individus (Michou et al., 2018). Ainsi, les populations les plus ciblées par les messages de santé ne sont pas celles qui sont les plus capables d'en tirer un bénéfice.

[10] Selon l'OCDE, la littéracie (ou littératie) est définie comme l' « aptitude à comprendre et à utiliser l'information écrite dans la vie courante, à la maison, au travail et dans la collectivité en vue d'atteindre des buts personnels et d'étendre ses connaissances et ses capacités » (OECD & Statistics Canada, 2000). Ainsi, le concept de littéracie n'e st pas exhaustif au domaine de la santé.

D'une part, les informations sur la nutrition sont plurielles : elles sont diffusées par différents agents (médias, industrie, gouvernements), et concernent divers sujets. Ces informations peuvent se montrer contradictoires et ainsi engendrer de la confusion pour le consommateur. Cette confusion peut l'amener à douter et rejeter les messages de santé. Cela va ainsi diminuer ses comportements favorables à la santé (consommer des fruits et légumes et pratiquer l'exercice physique, Nagler, 2014).

D'autre part, il est probable que les messages de santé diffusés ajoutent de l'information dans un environnement caractérisé par l'omniprésence de publicités en faveur d'un style de vie sédentaire, et promouvant la consommation d'aliments de mauvaise qualité nutritionnelle. Les influences de ces contenus sont difficiles à mesurer, mais apparaissent interférer dans les changements d'habitudes et de comportements de santé intentés par les politiques de santé publique (Gracia Arnaiz, 2001). Des effets encourageants ont été observés à court terme, néanmoins un effet d'habituation semble affaiblir l'impact de ces messages (Jacquier et al., 2012).

En outre, un effet boomerang des messages à visée nutritionnelle a été observé (Werle & Cuny, 2012). Malgré un effet positif à la réception, ainsi que sur les intentions de comportements des consommateurs en France (Institut National de Prévention et d'Education pour la Santé (INPES) & Ministère de la santé de la jeunesse et des sports, 2008), les messages de santé pourraient avoir un contre-effet en amenant l'individu à consommer des aliments palatables (Chambaron et al., 2015). Combiner un aliment de mauvaise qualité nutritionnelle, mais à forte valeur hédonique avec un message de prévention peut amener l'individu à consommer des aliments mauvais pour la santé, tout en présentant la justification d'un comportement plus sain ultérieur (*exemple : je vais manger cette barre chocolatée et je ferai de l'exercice plus tard*). Selon une étude de Werle, en 2012, ces modifications du comportement se feraient de manière implicite et par des processus automatiques, c'est-à-dire à l'insu des consommateurs (Werle & Cuny, 2012).

Certains auteurs proposent de nouvelles pistes d'action concernant les stratégies de santé publique. Par exemple, prendre en compte la dimension plaisir dans l'alimentation semble être un levier intéressant pour guider les individus vers des choix alimentaires de meilleure qualité nutritionnelle (Jacquier et al., 2012; Marty et al., 2018). Des modifications plus larges de l'environnement de manière à ce que les options de choix alimentaires de bonne qualité

nutritionnelle soient disponibles, moins chères et plus accessibles, paraissent également être un levier prometteur. Néanmoins les effets de ces actions sont difficiles à mesurer et prennent du temps (Mozaffarian et al., 2018). Par ailleurs, la modification de l'environnement permettant de faciliter l'accès à un mode de vie plus sain reste un défi, car les influences de notre environnement obésogène sont encore mal connues. Ce facteur va venir moduler la manière dont les individus intègrent les informations nutritionnelles, ainsi que celle dont ils vont exercer des comportements favorables à leur santé.

I – 1. 4. 5. Conclusions

- L'obésité est une condition complexe qui se manifeste différemment d'un individu à l'autre, indépendamment de l'IMC.
- De nombreux facteurs vont influencer le fait d'avoir une balance énergétique déséquilibrée.
- Les stratégies visant à favoriser les comportements de santé ont des effets limités et souvent à court terme.
- Les facteurs psychologiques et environnementaux semblent influencer les comportements des individus, et leur intrication est complexe.
- Certains processus implicites, encore mal connus, semblent influencer la manière dont l'individu traite l'information et déploie des comportements favorisant l'équilibre de la balance énergétique.

I – 1. 5. Facteurs cognitifs

Afin d'obtenir une meilleure compréhension des facteurs psychologiques menant à l'échec thérapeutique et empêchant la perte de poids, les recherches se sont intéressées de manière plus poussée à la cognition, en explorant les mécanismes de traitement de l'information. La mémoire, le langage, l'attention, l'inhibition et la flexibilité sont des capacités qui nous permettent de traiter l'information de l'environnement. Ces capacités, ou « fonctions cognitives », semblent être moins performantes lorsque les individus sont en surpoids ou en obésité, dans les situations neutres, mais également face aux aliments (**Figure 5**). Bien que de

nombreuses études se soient attachées à caractériser les capacités cognitives pouvant être modulées par la présence d'un surpoids ou d'une obésité, un faible consensus scientifique a été atteint (Prickett et al., 2015). Certains aspects périphériques à l'obésité pourraient en effet moduler les capacités cognitives des individus, comme par exemple, une sensibilité des récepteurs dopaminergiques[11], un faible niveau d'activité physique, un faible statut socio-économique, ou la présence de dépression (**Figure 5**). Le lien entre obésité et fonctions cognitives est complexe : de faibles capacités cognitives peuvent mener l'individu à un style de vie délétère pour la santé de façon persistante, mais ce style de vie peut également contribuer à rendre les capacités cognitives moins efficaces.

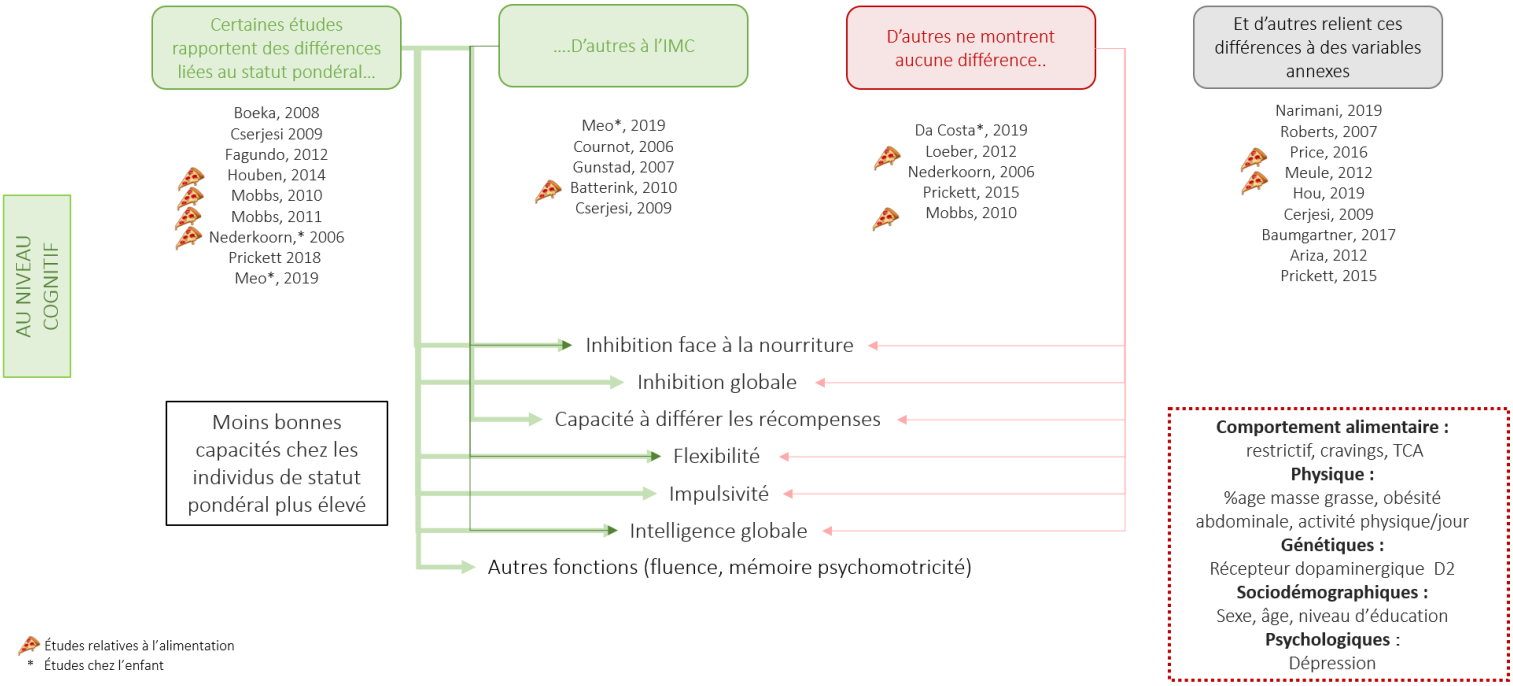


Figure 5 - Panorama des études observant des différences de capacités cognitives globales, ou de capacités cognitives relatives à l'alimentation liées à l'IMC, ou au statut pondéral (variable catégorielle basée sur l'IMC). IMC = Indice de Masse Corporelle, TCA = Troubles du Comportement Alimentaire. Références de la figure : Ariza et al., 2012; Batterink et al., 2010; Baumgartner et al., 2019; Boeka & Lokken, 2008; Cournot et al., 2006; Cserjési et al., 2009; da Costa et al., 2019; Fagundo et al., 2012; Gunstad et al., 2007; Hou et al., 2019; Houben et al., 2014; Loeber et al., 2012; Meo et al., 2019; Meule et al., 2012; Mobbs et al., 2010, 2011; Narimani et al., 2019; Nederkoorn, Braet, et al., 2006; Nederkoorn, Smulders, et al., 2006; M. Price et al., 2016; Prickett et al., 2015, 2018; Roberts et al., 2007.

[11] L'implication des réseaux dopaminergiques et de leurs projections sur les structures associées à la mémoire (hippocampe) et à la récompense (amygdale) peut créer de nouvelles associations en mémoire pour lesquelles l'individu va s'attendre à une récompense lorsqu'il va consommer un aliment, mais également lorsqu'il va être exposé à des stimuli associés à ces aliments (Volkow et al., 2008). Bien que ce phénomène semble commun à tous les individus, certains individus en obésité pourraient avoir de plus faibles récepteurs dopaminergiques, ce qui impliquerait une surconsommation d'aliments pour palier à un faible niveau de libération de dopamine dans le cerveau.(Volkow et al., 2008; Wang et al., 2001).

Des capacités cognitives moins efficaces permettraient ainsi d'expliquer les mécanismes qui sous-tendent et enclenchent des prises alimentaires excessives par rapport aux dépenses énergétiques effectuées par l'individu. Ces facteurs cognitifs constituent également une potentielle explication de l'efficacité limitée des stratégies de prévention. En effet, **l'étude des facteurs cognitifs de l'obésité permet de se situer à l'interface entre l'individu et son environnement, et de mieux comprendre ses comportements d'un point de vue psychologique et motivationnel.**

I – 2. L'interaction individu-environnement : l'origine des comportements

Selon des recherches basées sur les théories de l'évolution, les comportements obésogènes découlent de comportements adaptatifs censés favoriser la survie. Or, ces comportements ne sont pas fonctionnels dans notre environnement actuel et il est nécessaire de comprendre quels en sont les mécanismes (Fawcett et al., 2014; Higginson et al., 2016).

I – 2. 1. Le déterminisme réciproque : environnement, cognition, comportement

Les premières théories du comportement (Skinner, 1953) se sont attachées, depuis les années 1950, à expliquer les effets de l'environnement sur les comportements individuels. Par ses travaux sur l'apprentissage social, le psychologue américain Albert Bandura vient compléter ce modèle en établissant que les transformations mentales et les interprétations des stimuli de l'environnement par l'individu vont déterminer son comportement au même titre que l'environnement. Selon sa théorie sociocognitive, le comportement de l'individu n'est pas uniquement déterminé par l'environnement, mais il est médié par le fonctionnement psychologique de l'individu qui va jouer un rôle primordial (Bandura, 1976; Carré, 2004). Le modèle théorique ainsi proposé permet d'expliquer le comportement humain par des interactions continues entre les facteurs environnementaux, cognitifs et comportementaux : c'est ce que l'on appelle « le déterminisme réciproque », **figure 6**.

Facteurs environnementaux : Il s'agit de l'ensemble des influences extérieures à l'individu, constituées par exemple des influences sociales et culturelles ainsi que des stimuli sensoriels externes. Les individus n'ont pas le contrôle sur l'environnement physique et socio-culturel qui les entoure, mais ils peuvent dans une certaine mesure, agir sur la manière dont ils l'interprètent et y réagissent (Bandura, 1999).

Facteurs cognitifs : On entend par cognition, l'acquisition des savoirs sur le monde : la perception, l'attention et la mémoire sont des phénomènes qui participent à cette acquisition. Ainsi, les facteurs cognitifs regroupent l'ensemble des processus permettant à l'individu de traiter l'information issue de son environnement afin de produire des comportements adaptés (Cottraux, 2011; Williams & Cervone, 1998).

Facteurs comportementaux : Il s'agit de l'ensemble des conduites observables de l'individu. Le comportement est un enchaînement ordonné d'actions destinées à adapter l'individu à une situation telle qu'il la perçoit et l'interprète (Cottraux, 2011).

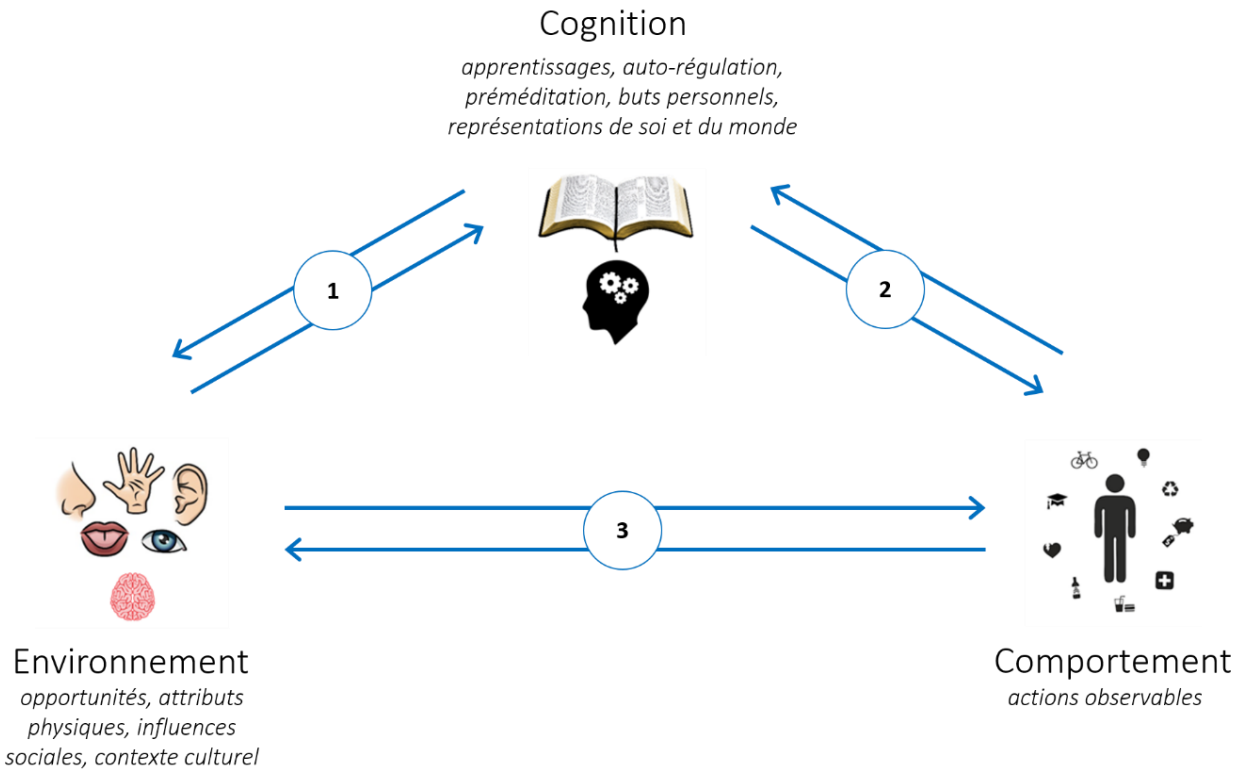


Figure - Théorie sociocognitive

1) **Environnement et cognition :** Les stimuli environnementaux vont activer des schémas cognitifs stockés en mémoire à long terme qui vont filtrer l'information perçue par l'individu via des biais cognitifs.
2) **Cognition et comportement :** Les schémas cognitifs et représentations mentales (croyances, connaissances, motivations) vont orienter et façonner le comportement. Dans une perspective d'adaptation, le résultat des comportements émis (*feedback*) va amener la réévaluation des schémas cognitifs : ils seront ainsi validés et pérennisés, ou bien modifiés en fonction des conséquences de la situation.
3) **Comportement et environnement :** L'environnement peut susciter des réponses comportementales automatiques chez l'individu. Ces processus sont également médiés par la cognition, mais à un niveau archaïque et réflexe. Les comportements de l'individu vont lui permettre d'agir sur son environnement.

Figure 6 - Le déterminisme réciproque. Références de la figure : Bandura, 1999; Carré, 2004; Cottraux, 2011; Pashler et al., 2001; Williams & Cervone, 1998

Les stimuli alimentaires issus de l'environnement

Dans le cadre de l'alimentation, les informations fournies par l'environnement concernent toutes les informations alimentaires perçues par l'individu. Physiologiquement, la sensation de faim va initier la recherche d'un repas, jusqu'au rassasiement (arrêt de la faim progressif) et finalement, de la satiété (plénitude après un repas déterminant le moment et la quantité de la prise alimentaire suivante) (Benelam, 2009). Ces signaux internes à l'individu impliquent des hormones comme la leptine et la ghréline, et vont influencer le comportement (Cameron &

Doucet, 2007). En dehors de ces signaux, la prise alimentaire dépend d'un grand nombre de décisions, qui vont être conscientes ou non-conscientes, et concerner « quand commencer à manger », « quoi manger », « combien manger » et « quand s'arrêter » (Bilman et al., 2017).

Dans notre environnement obésogène, les stimuli relatifs à la présence d'aliments et à la prise alimentaire peuvent sur-influencer ces décisions. C'est, par exemple, le cas pour les publicités alimentaires, qui sont omniprésentes dans notre environnement et vont amener les individus à surconsommer des aliments de mauvaise qualité nutritionnelle. Dans une étude réalisée en laboratoire, Zimmermann & Shimago en 2014 ont exposé des participants à plusieurs spots publicitaires mettant en avant des aliments à haute densité énergétique (chips, chocolats, soda) ou bien des produits neutres (baskets, téléphones, voitures) comme condition contrôle. A la suite de cette exposition, des snacks étaient mis à la disposition des participants et ils étaient filmés à leur insu. Les auteurs ont observé une forte différence du nombre de snacks choisis et du nombre de calories consommées par les participants. En effet, ceux qui avaient été exposés aux spots publicitaires pour les aliments consommaient plus de calories et plus d'aliments de mauvaise qualité nutritionnelle lors du test de consommation (Zimmerman & Shimoga, 2014). Par ailleurs, des stimuli non-attentivement perçus peuvent également moduler la consommation d'aliments palatables, comme par exemple des images de visages montrant la joie ou la colère flashées quelques millisecondes à l'écran (Berridge, 2003), ou des odeurs de cookies (Coelho et al., 2009; Larsen et al., 2012) diffusées avant des tests de consommation. La simple exposition à des stimuli alimentaires de l'environnement peut stimuler la faim, et activer des mécanismes de préparation physiologique à la digestion (salivation). Cette tendance pourrait être exacerbée chez les individus en surpoids ou en obésité (Ferriday & Brunstrom, 2011). De plus, porter une moindre attention aux signaux internes de rassasiement en étant distrait par son environnement (manger devant la télévision, par exemple) peut amener l'individu à consommer plus de calories que nécessaire (E. Robinson et al., 2013).

Les stimuli alimentaires issus de l'environnement auront donc un rôle primordial dans les choix alimentaires des individus, d'une manière qui est souvent automatique (Marteau et al., 2012). Dans notre environnement riche en stimuli alimentaires, les individus semblent être amenés à ressentir une « faim » artificielle (Spence et al., 2016). Cela constitue une hypothèse de base permettant d'expliquer comment l'environnement va moduler la cognition de l'individu dans le cadre de choix alimentaires. Afin de mieux comprendre comment des influences externes

vont influencer les prises de décision des individus en termes d'alimentation, il est important de comprendre comment ceux-ci vont traiter les informations alimentaires.

I – 2. 2. Le traitement de l'information alimentaire

I – 2. 2. 1. La perception des aliments

Les informations de l'environnement parviennent à l'individu par le biais de ses récepteurs sensoriels. Ces récepteurs, selon leur nature, vont être sensibles à un certain type d'énergie dans une certaine gamme d'intensité (*i.e.*, au-delà du seuil de détection) (Moller, 2002). La perception est le processus par lequel les informations des récepteurs sensoriels vont être traitées par la cognition, ce qui va permettre à l'individu d'y avoir accès (Bruner & Postman, 1949; Hochberg, 1956).

La perception des aliments implique tous les sens : la vision informe sur l'apparence des aliments, leur densité énergétique, et leur localisation (Foroni et al., 2016) ; l'odeur des aliments signale la disponibilité d'aliments comestibles aux alentours, et va moduler la perception de la flaveur des aliments durant l'ingestion (Stevenson, 2010) ; en bouche, l'ouïe va informer sur la texture des aliments, tout comme le toucher, qui va en plus donner des informations sur la température des aliments (Bartoshuk, 1991). Finalement, les récepteurs gustatifs vont permettre de détecter différents goûts : sucré, salé, amer, acide, umami, gras (Bartoshuk, 1991). L'ensemble de ces sensations crée initialement la perception alimentaire, qui va former une « image mentale » pérennisée en mémoire à long terme.

I – 2. 2. 2. La représentation mentale des aliments

L'association de stimuli, ainsi que leur mémorisation, implique un processus actif de transformation et de restructuration de l'information sous forme de concepts et règles (Bandura, 1999). Ces représentations mentales ont été décrites par Moscovici en 1963 comme étant un concept à plusieurs facettes comprenant le système de valeurs, les idées, les images et les pratiques (Bidjari, 2011; Moscovici, 1963). Les représentations mentales seraient organisées en réseaux, et l'activation d'une représentation mentale (par des stimuli internes ou externes à l'individu) activerait d'autres représentations ou concepts qui lui sont liés (*spreading activation theory*, Anderson, 1983; Heise & Westermann, 1989). Finalement, ces représentations seront

différentes d'un individu à l'autre : elles sont dépendantes des expositions répétées aux aliments dans des contextes différents (Lyman, 1989) (**Figure 6 –** ①). Dans le cadre de l'alimentation, plusieurs caractéristiques de ces représentations peuvent être décrites : sensorielles, cognitives et émotionnelles.

Caractéristiques sensorielles des représentations

Les caractéristiques sensorielles vont être l'ensemble des informations perçues par les sens. Elles comprennent l'aspect visuel (brillance, couleur, forme), la texture (mou, dur, croustillant), l'odeur, le goût (acide, amer, sucré, salé, umami, gras) ainsi que les sensations relatives à la température (chaud, froid) et à la douleur (pimenté) que l'individu s'attend à avoir lorsqu'il mange un aliment (Bartoshuk, 1991; Benelam, 2009). Les aspects sensoriels d'un aliment seront donc associés en mémoire à la représentation mentale de l'aliment, et dépendent des capacités sensorielles de l'individu ainsi que de ses multiples interactions avec l'aliment. Ces informations vont également servir de stimuli permettant l'activation des représentations.

Il est intéressant de noter ici que la perception de goûts sucrés et gras est impliquée dans le circuit de la récompense (Kure Liu et al., 2019). Plusieurs études ont démontré que les individus en obésité avaient une moindre sensibilité à ces stimuli gustatifs, ce qui permettrait d'expliquer une plus grande consommation d'aliments gras et sucrés par rapport aux individus normo-pondéraux. En effet, à stimulation égale des récepteurs, il semblerait que les individus en obésité aient besoin d'une plus grande intensité de stimulation pour percevoir un plaisir égal à celui des individus normo-pondéraux. De la même manière, les individus en obésité semblent avoir une moindre sensibilité à l'umami, un goût signalant les protéines dans les aliments et étant largement impliqué dans la satiété. Cela pourrait amener les individus en obésité à surconsommer des aliments qui sont généralement riches en protéines et très caloriques (Benelam, 2009; Kure Liu et al., 2019). Certains auteurs avancent également que les individus en obésité auraient de moins bonnes capacités olfactives, un sens intrinsèquement lié à la perception des goûts (Peng et al., 2019). Néanmoins, et comme pour le goût, le niveau de preuve ne semble pas suffisant pour expliquer la surconsommation d'aliments dans l'obésité par une moindre sensibilité perceptive des aliments (Kure Liu et al., 2019). Les représentations mentales des individus sont ainsi tributaires de leurs capacités sensorielles, il est donc important d'intégrer ces aspects à leur étude.

Caractéristiques cognitives des représentations

Les caractéristiques cognitives des représentations mentales vont concerner l'ensemble des aspects sémantiques descriptifs associés à l'aliment. Dans le cadre de l'alimentation, ces caractéristiques comprennent l'évaluation hédonique (positive/négative – j'aime/je n'aime pas), ainsi que les croyances à propos de l'aliment, comme par exemple « cet aliment est bon/mauvais pour la santé », ou bien « cet aliment est bon/mauvais au goût » (Raghunathan et al., 2006; Werle et al., 2013). Ces connaissances peuvent être déconnectées de la réalité scientifique, ce qui peut résulter en des attributions faussées, comme par exemple, la croyance selon laquelle « les fruits et les légumes font maigrir ». Cette croyance peut ainsi amener les individus à considérer que le fait de manger uniquement des fruits et des légumes va les amener à perdre du poids, tandis que cet effet n'est pas observé en réalité si aucun autre changement comportemental n'est réalisé (Casazza et al., 2013). De la même manière, les individus ont tendance à inférer que les aliments qu'ils catégorisent comme « mauvais pour la santé » sont meilleurs au goût, et donc plus appréciables que des aliments catégorisés comme « bons pour la santé » (Raghunathan et al., 2006).

Ces caractéristiques sont intéressantes à étudier pour comprendre le comportement alimentaire des individus, néanmoins, il apparaît compliqué d'avoir accès au contenu cognitif des représentations mentales. En effet, l'utilisation de méthodes d'interrogation directes (comme les questionnaires et enquêtes) conduit bien souvent à des biais de réponse. D'une part, les individus n'ont pas une totale connaissance de leur architecture cognitive (Nisbett & Wilson, 1977), et d'autre part, ils peuvent vouloir être socialement désirables dans leurs réponses (McCambridge et al., 2014). Les chercheurs se sont ainsi intéressés aux aspects plus implicites des représentations mentales, en utilisant des méthodes issues de la psychologie cognitive qui évaluent le contenu des représentations mentales de manière indirecte[12]. Les résultats obtenus avec des méthodes indirectes ne sont pas toujours corrélés à ceux obtenus par méthodologies directes. Bien que ces méthodes ne permettent pas d'extraire une structure précise des représentations mentales des individus, elles semblent mieux prédire les comportements alimentaires que les méthodes directes (Karpinski & Hilton, 2011; Perugini, 2005).

[12] pour une revue de ces méthodes, voir Gaillet-Torrent, 2013, p. 21-26

Caractéristiques émotionnelles des représentations

Les caractéristiques émotionnelles des représentations mentales sont les émotions associées à l'aliment en mémoire : les aliments, et particulièrement le goût et l'olfaction, peuvent créer des émotions comme le plaisir alimentaire (E. T. Rolls, 2005). Les émotions associées à l'aliment peuvent être positives (plaisir alimentaire, commensalité – *i.e.* plaisir associé au partage d'un repas) ou négatives (dégoût, culpabilité suite à une prise alimentaire excessive, anxiété initiant une prise alimentaire pour se calmer) (Edwards et al., 2013; Spence, 2017). Elles peuvent avoir lieu pendant les repas ou hors des repas et seront assimilées à la représentation mentale de l'aliment.

Activation des représentations

Selon la théorie de Beck, certains **schémas propres à l'individu** vont déterminer l'activation, le processus de pensée et les comportements subséquents de l'individu en réponse à un stimulus donné dans une situation donnée (Beck & Clark, 1988). Selon DiMaggio, les schémas sont constitués à la fois de représentations mentales propres à l'individu et également de tendances de traitement de l'information qui y sont associées (DiMaggio, 1997). Ces schémas sont une sorte de « raccourci » cognitif qui vont déterminer le fonctionnement cognitif de l'individu en permettant d'économiser des ressources énergétiques (Beck & Haigh, 2014). Ils sont activés de manière automatique.

Pour l'alimentation comme pour les domaines plus généraux, ces activations sont tributaires des stimuli auxquels l'individu va être confronté. Les représentations mentales des aliments, différentes d'un individu à l'autre, vont être donc activées en réponse à des stimuli différents, et amener des activations cognitives (schémas) et des comportements alimentaires propres à l'individu (DiMaggio, 1997).

I – 2. 2. 3. Sélection des stimuli

La cognition a une capacité de traitement limitée et, dans un environnement riche en stimulations, il est impossible pour l'individu de traiter tous les stimuli simultanément. Le rôle de l'attention va ainsi être de sélectionner et moduler les stimuli entrants (Chun et al., 2011). Cette sélection attentionnelle va permettre l'activation ultérieure de certaines représentations, qui vont activer certains schémas d'action de façon optimale (efficacité) et économe (utilisation

de moins de temps et d'énergie). Deux pôles d'un continuum de l'attention peuvent être distingués (**Figure 7**) :

1) **L'attention externe** qui va sélectionner les stimuli issus de l'environnement. Elle peut être dirigée vers une ou plusieurs modalités sensorielles dans le temps et l'espace.

2) **L'attention interne** qui va sélectionner les stimuli entrants et superviser les opérations de la cognition.

I – 2. 2. 4. Processus bottom-up (ascendants) et top-down (descendants)

Le déterminisme réciproque de Bandura (**Figure 6)** peut être vu de manière cognitive comme étant le fruit de l'interaction de deux types de processus cognitifs hiérarchisés : (**Figure 7)**

Les processus dits 'bottom-up' (ascendants, ou *processus de bas-niveau*), ce sont des processus guidés par des perceptions sensorielles (cortex sensoriel) pour atteindre des fonctions plus élevées de traitement de l'information qui sont principalement localisées dans le cortex pré-frontal. Les signaux internes de faim et de satiété impliquant des hormones comme la leptine et la ghréline, ainsi que les stimuli alimentaires de l'environnement vont influencer la cognition de manière bottom-up (Cameron & Doucet, 2007). Ces processus sont principalement **automatiques** et guidés par les stimuli de l'environnement (Rauss & Pourtois, 2013**).**

Les processus dits 'top-down' (descendants, ou *processus de haut-niveau*), il s'agit de processus guidés par des prédictions dérivées des expériences passées (interaction entre la mémoire - qui contient les représentations et les schémas de pensée et d'action, et le contexte – représenté par les stimuli de l'environnement) (N. Herz et al., 2020). Les stimuli vont entrer en compétition pour activer des représentations, qui vont-elles-même entrer en compétition pour activer des schémas d'action. Les processus top-down vont notamment permettre la sélection des représentations et des stimuli, en inhibant l'activation des informations non-pertinentes (Heise & Westermann, 1989).

Dans le cadre de l'alimentation, par exemple, une sensation de faim élevée associée à la présence d'une petite quantité de nourriture appétante pourrait amener un individu à manger impulsivement. D'autres paramètres, comme la présence d'autres individus peut amorcer l'idée de devoir partager sa nourriture pour être accepté socialement. Le concept de « partage » peut

ainsi être activé conjointement à celui de « prise alimentaire impulsive » de façon ascendante (*i.e.* bottom-up, guidé par les stimuli de l'environnement) ou par diffusion de l'activation (perception d'individus qui vont manger en même temps et présence de nourriture entraînant l'activation du schéma de partage). L'activation de représentations sociales associées au partage va ainsi inhiber les schémas d'action consistant à manger toute la nourriture par des processus top-down. Par ces inhibitions, seules les représentations mentales et les schémas cognitifs adaptés à la situation (partage, commensalité) restent activés pour donner lieu à un comportement qui permet à l'individu d'atteindre son but (dans ce cas, partager pour ne pas être rejeté du groupe social) (Appelhans, 2009).

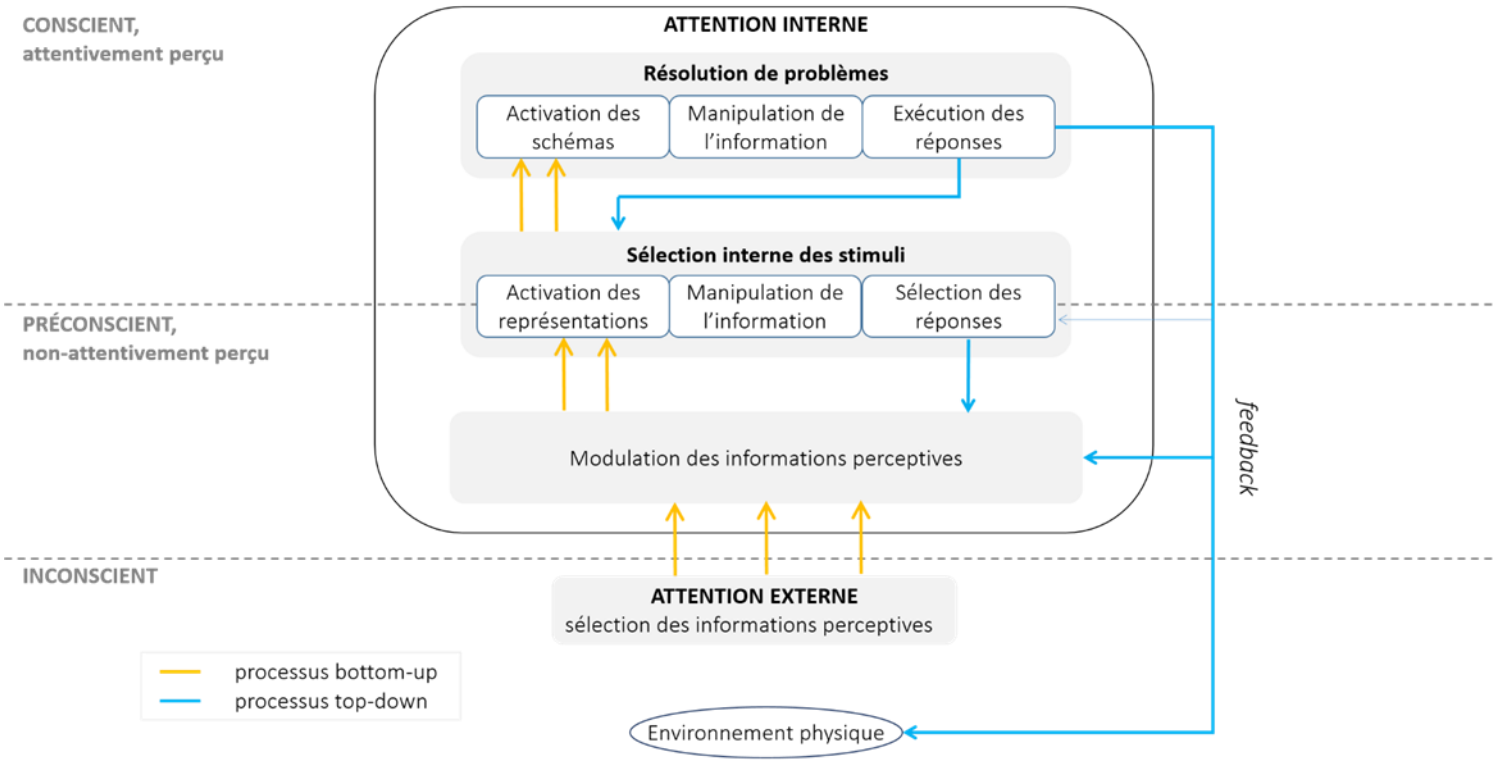


Figure 7 - Modèle du traitement de l'information. Référence de la figure : Chun et al., 2011.

Selon ce point de vue théorique, les perceptions sont ainsi à la fois une source et une cible d'influence pour la cognition (Voir **Figure 5 –** ①). Cela permet à l'individu d'obtenir un minimum d'informations sur son environnement, qui, exploitées, lui permettent de déduire des règles de conduite appropriées afin d'émettre un comportement adapté à la situation (Voir **Figure 5** –②) (Rauss & Pourtois, 2013).

I – 2. 2. 5. Les fonctions exécutives

Les traitements de l'information descendants (*i.e.* top-down) sont liés à des fonctions cognitives nommées *fonctions exécutives*. Le rôle des fonctions exécutives va être de gérer les processus cognitifs internes en permettant d'inhiber les stimuli, schémas, ou patterns de réponse qui sont activés et en compétition au détriment d'autres, plus adaptés (Diamond, 2013). Ces fonctions sont principalement localisées dans le cortex préfrontal.

Le terme « **fonctions exécutives** » renvoie à la capacité de maintenir un set de résolution de problème approprié pour atteindre un but futur (Welsh & Pennington, 1988). Ces fonctions ont été largement étudiées et plusieurs conceptualisations existent à l'heure actuelle (N. P. Friedman & Miyake, 2017). Un modèle prévalent pour les décrire est celui de Friedman & Miyake, qui conceptualisent les fonctions exécutives en trois entités distinctes (Miyake et al., 2000) :

- **Flexibilité ou *shifting* :** capacité à passer d'une tâche mentale à une autre, d'un stimulus à un autre.

- **Mémoire de travail ou *updating* :** capacité de (1) manipuler activement l'information et (2) superviser les processus cognitifs.

- **Inhibition :** capacité à inhiber l'activation des stimuli et schémas en compétition.

Ces trois fonctions, en interaction avec l'attention, vont résoudre les conflits entre les stimuli et schémas en compétition à différents niveaux du traitement (**Figure 7**). L'information est cognitivement modulée jusqu'à la sélection d'une réponse comportementale et son exécution. Ces processus cognitifs reflètent la réalité des comportements : activés ou inhibés, flexibles ou rigides.

Les évènements (*cognitifs* – émotions ou pensées ressenties par l'individu ou *environnementaux* – conséquences directes et observables) se produisant en réponse aux comportements sont des informations qui seront intégrées par l'individu et qui iront enrichir certains schémas au détriment d'autres (Miller & Cohen, 2001). Cette modulation de l'architecture cognitive va ainsi influencer les activations et inhibitions cognitives, ainsi que comportements futurs comme illustré dans l'interaction entre l'individu et l'environnement du déterminisme réciproque de

Bandura (Bandura, 1999) (Voir **Figure 6 –** ③). C'est notamment le cas pour le conditionnement dans les préférences alimentaires : les aliments qui auront une conséquence positive sur l'individu seront à nouveau consommés et recherchés (activation d'un schéma d'approche). A l'inverse, les aliments qui l'auront rendu malade ou qu'il n'aura pas apprécié seront évités par aversion (activation d'un schéma d'évitement) (Chambers, 2018).

I – 2. 3. Différents niveaux de traitement de l'information

Comme il a été mentionné précédemment, les fonctions exécutives, tout comme l'attention, ont une capacité limitée. De ce fait, tous les traitements cognitifs ne vont pas être attentivement perçus, et ne seront pas systématiquement approfondis. En effet, dans des situations routinières, les comportements peuvent être automatiques, tout comme les processus cognitifs qui les sous-tendent : par exemple, pour aller de son travail à son domicile, un individu ne va pas se demander à chaque carrefour quelle direction suivre. De la même manière, l'ajout de sel dans les plats par exemple semble être un comportement automatique auquel peu d'individus prêtent attention (Greenfield et al., 1983).

I – 2. 3. 1. Systèmes duels, processus duels

Selon la **théorie des processus duels** (*dual process theory*, pour une revue, voir Frankish, 2010), la cognition humaine serait constituée de deux types de processus cognitifs : des processus cognitifs basés sur l'association entre les différents éléments du contexte, de bas-niveau et plutôt automatiques, et des processus cognitifs impliquant une évaluation minutieuse de la situation, de plus haut niveau, et davantage contrôlés (Frankish, 2010). La **théorie des systèmes duels** (*dual system theory*) fait état de deux systèmes semblables aux deux types de processus décrits par la théorie des processus duels. Elle permet de distinguer deux systèmes sous-tendant la cognition inconsciente, préconsciente (*i.e.*, système 1) et consciente (i.e., système 2). (**Tableau 3,** Evans & Frankish, 2009)

Tableau 3 – Caractéristiques attribuées aux deux systèmes sous-tendant la cognition. Adapté de Evans & Frankish, 2009.

SYSTEME 1	SYSTEME 2
Rapide	Lent
Economique	Coûteux
Automatique	Contrôlé par l'individu
Inconscient ou préconscient	Conscient
Implicite	Explicite
Intuitif	Analytique
Evolutivement archaïque	Evolutivement récent
Présent chez de nombreuses espèces	Spécifique à l'humain
Indépendant de l'intelligence générale	Lié à l'intelligence générale
Développement précoce	Développement tardif

Ces deux systèmes, bien qu'indépendants, sont en constante interaction (Gronchi & Giovannelli, 2018). L'un, automatique et inaccessible à la conscience (système 1), l'autre correspondant à une volonté libre et personnelle de l'individu (système 2), posent la question de la responsabilité de l'individu dans ses conduites. Ainsi, ils permettent de mieux comprendre pourquoi les décisions et les comportements des individus ne sont pas toujours rationnels (Evans & Frankish, 2009).

Les caractéristiques des deux systèmes ont été largement débattues au fil des dernières décennies (Melnikoff & Bargh, 2018). Certains auteurs proposent ainsi que les processus du système 1 et du système 2 soient sous-tendus par des mécanismes similaires (ascendants et descendants), mais qui se comportent différemment et de manière hiérarchique (N. Herz et al., 2020) (**Figure 7**). Néanmoins, la théorie des processus duels permet un cadre théorique intéressant pour différencier les processus cognitifs qui vont être conscients ou non -conscients, ainsi que les processus cognitifs contrôlés et automatiques. Etant donné les différents niveaux de traitement hiérarchique, il paraît intéressant de positionner les processus cognitifs sur un continuum, allant du plus automatique au plus contrôlé, les comportements émis par un individu résultant souvent d'une intrication de processus automatiques et contrôlés (Marteau et al., 2012).

I – 2. 3. 2. Conscient et inconscient

Pour expliquer la dichotomie entre les processus automatiques et contrôlés, Cottreaux va distinguer trois types d'« inconscients » : (Cottraux, 2003, 2009, 2011) 1) l'inconscient

environnemental qui correspond aux influences extérieures qui conditionnent nos comportements et nos attitudes psychologiques, à notre insu. 2) L'inconscient cognitif qui correspond à l'ensemble des processus mentaux automatiques. Celui-ci est constitué de pensées automatiques préconscientes, d'images mentales, et de schémas cognitifs profonds qui vont déterminer la cognition et les comportements. 3) Et finalement, l'inconscient biologique : qui correspond à l'activité neuronale automatique et au fonctionnement neuro-endocrinien. Il sous-tend les processus cognitifs conscients et inconscients, ainsi que les émotions. Dans le cadre de l'alimentation, cette théorie peut être illustrée par les différents niveaux de conscience que l'individu va avoir :

- *Inconscient environnemental* : des influences environnementales qui vont moduler le comportement alimentaire, comme les publicités, la présence d'individus, ou bien les odeurs alimentaires de son environnement

- *Inconscient cognitif* : des influences cognitives, comme l'activation de représentations mentales particulières à un moment donné ou bien des images mentales associées à l'aliment

- *Inconscient biologique* : des influences biologiques sur la prise alimentaire : mécanismes de la faim, de la satiété, de la perception du goût etc.

I – 2. 3. 3. Attentivement perçu et non-attentivement perçu

La dichotomie conscient-inconscient ne semble néanmoins pas toujours s'appliquer au traitement de l'information. Ainsi, dans un environnement riche en stimulations (alimentaires, par exemple), un traitement attentionnel va être effectué afin de sélectionner les stimuli de l'environnement. Certains stimuli peuvent ainsi devenir consciemment et attentivement perçus dès lors que l'individu y focalise son attention. Dehaene et al. distinguent trois types de traitements de l'information déterminant l'accès des stimuli à la cognition consciente, permettant de situer la perception des stimuli sur un continuum (Dehaene et al., 2006):

Subliminal : les stimuli non-sélectionnés vont activer les récepteurs sensoriels, mais ne poursuivront pas un traitement cognitif plus poussé et resteront non-conscients pour l'individu.

Préconscient : les stimuli sélectionnés sont potentiellement accessibles à la conscience car ils ont été sélectionnés dans un premier temps. Néanmoins, ils ne sont pas la cible de l'attention interne sur le moment et ne sont donc pas conscients.

Conscient : les stimuli sont conscients en étant la cible de l'attention interne. L'individu est capable de décrire les stimuli et la manière dont ils s'organisent pour préparer une action volontaire.

On peut ainsi distinguer les stimuli non-attentivement perçus et attentivement perçus. De la même manière, les processus de traitement de l'information générés en réponse aux stimuli (comme par exemple, les émotions, ou les produits du raisonnement logique) peuvent être attentivement perçus ou non-attentivement perçus, selon le degré de conscience qu'en a l'individu. Ainsi, plusieurs facteurs (attentivement perçus ou non, conscients ou non) interviennent dans nos processus quotidiens de traitement de l'information, comme par exemple dans le cas de décisions alimentaires (Cohen, 2008a). Les processus automatiques qui vont déterminer les comportements à partir de stimuli non-attentivement perçus sont encore mal compris à ce jour, pourtant ils constituent un levier très pertinent afin d'amener les individus vers des choix alimentaires de meilleure qualité nutritionnelle (Marteau et al., 2012).

I – 2. 3. 4. Résumé

- Le traitement de l'information est hiérarchisé (**Figure 7**).
- Les fonctions cognitives comme l'attention et les fonctions exécutives ont une capacité limitée : tous les stimuli de l'environnement ne peuvent être traités simultanément.
- Certains stimuli seront non-attentivement perçus, tandis que d'autres seront attentivement perçus. De la même manière, tous les processus cognitifs ne peuvent être accessibles à la conscience.
- Les stimuli de l'environnement vont activer des représentations mentales (restructuration de l'information sous forme de concepts et règles), et des schémas (tendances cognitives et comportementales) stockés en mémoire qui vont structurer le traitement de l'information et déterminer les comportements ultérieurs.
- Afin de concentrer les ressources sur les processus cognitifs nécessaires, certains traitements de l'information vont être automatiques.
- Le raisonnement de l'individu (et par conséquent, ses comportements) ne sont pas toujours rationnels.

I – 2. 4. Les biais cognitifs

Les biais cognitifs sont un phénomène psychologique automatique consistant en une déviation irrationnelle de la perception ou du jugement (Fawcett et al., 2014). Ils se situent à différents niveaux de la hiérarchie du traitement de l'information, sont la plupart du temps non-conscients[13] et peuvent amener l'individu à des comportements dysfonctionnels (Beck & Alford, 2009). Un exemple bien connu et commun à tous les individus est l'effet « cocktail

[13] Les biais cognitifs sont non-conscients, ou bien pré-conscients, mais peuvent être amenés à la conscience de l'individu comme c'est le cas dans certaines thérapies cognitives qui visent une moindre utilisation des heuristiques dans le raisonnement de l'individu (Beck & Alford, 2009).

party » (Cherry, 1953) : il s'agit de la tendance des individus à porter leur attention sur la conversation en cours, dans une salle remplie de bruit par exemple. Ce phénomène commun à tous les individus n'est pas pathologique et est fonctionnellement utile à l'individu.

Les biais cognitifs s'expliquent par le fait que les capacités limitées des fonctions cognitives dans un environnement riche et changeant ont pour conséquences l'utilisation de certaines heuristiques de traitement[14] afin d'être les plus efficaces possibles (Tversky & Kahneman, 1974). D'une utilité fonctionnelle, ils permettent de traiter l'information pertinente de manière rapide et économique pour mener l'individu à ses buts. Ils sont ainsi principalement activés dans les situations routinières qui nécessitent peu de contrôle volontaire de l'individu (Marteau et al., 2012). Ces heuristiques, ou biais, sont comme un « raccourci » cognitif : leur fonction est de faciliter la discrimination des stimuli, sélectionner les schémas adaptés, et favoriser certains comportements de manière automatique, en biaisant le traitement rationnel de l'information.

Une activation dysfonctionnelle de ces biais peut avoir lieu, et ainsi altérer le raisonnement et les comportements des individus (Beck & Alford, 2009). Ils sont présents chez tous les individus, mais on retrouve de grandes différences interindividuelles dans leur manifestation. Néanmoins, certains sous-groupes de la population vont présenter des biais cognitifs caractéristiques, tels qu'ils ont été décrits dans la dépression (Beck & Clark, 1988), l'anxiété (Constans et al., 1999), la psychose (Balzan et al., 2013), ou le syndrome de stress post-traumatique (Paunovic et al., 2002).

Les biais cognitifs ont également été largement caractérisés au regard des addictions. En effet, les personnes souffrant d'addiction ont des biais attentionnels envers les stimuli relatifs à la consommation et un déficit de contrôle cognitif rendant plus difficile l'autorégulation du comportement (Goldstein & Volkow, 2002; T. E. Robinson & Berridge, 1993, 2003, 2008). Ces modèles de l'autorégulation du comportement servent de cadre théorique permettant d'expliquer la régulation des comportements de santé, et ont inspiré certains auteurs qui ont

[14] Ainsi, l'activité du cortex préfrontal va par exemple être plus faible dans les tâches habituelles, routinières, qui vont nécessiter un moindre contrôle (Miller & Cohen, 2001).

cherché à observer des biais cognitifs similaires aux addictions dans l'obésité, permettant ainsi de mieux comprendre les choix alimentaires délétères pour la santé (Volkow et al., 2008).

I – 2. 4. 2. Incentive-Sensitization Theory

Selon la théorie de Robinson & Berridge, en 1993, l'exposition répétée à des stimuli associés à la récompense (stimuli ayant une valence positive pour l'individu et apportant des émotions positives – qui seront nommés sous le terme de **S+** dans cette section) peut modifier les circuits cognitifs[15] et moduler la motivation des individus dans la réalisation de certains comportements (T. E. Robinson & Berridge, 1993, 2003, 2008), **figure 8**.

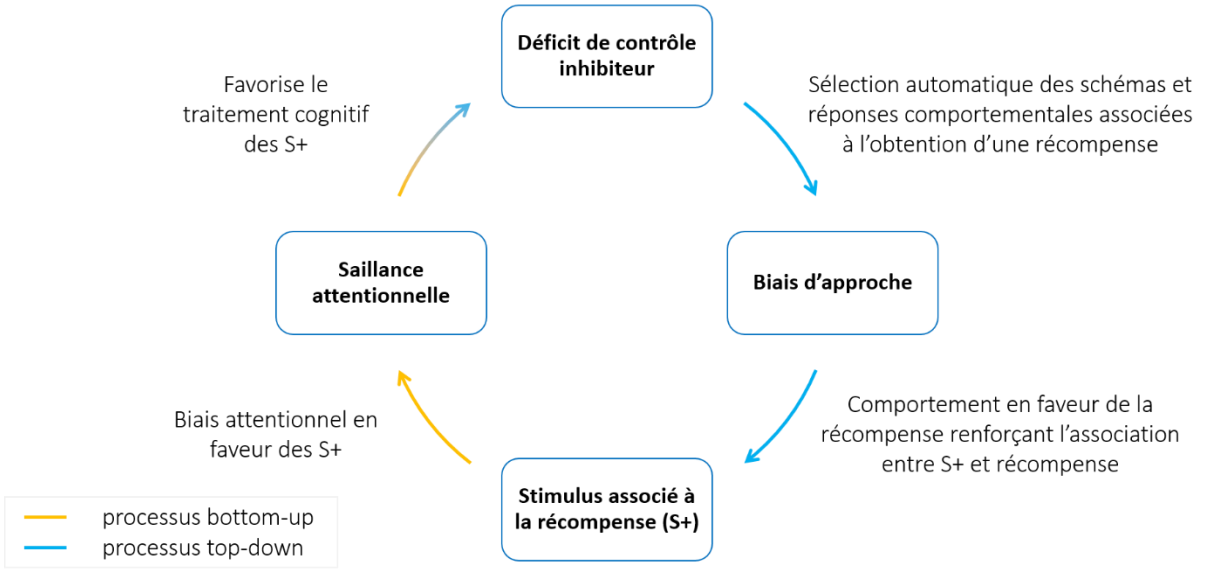


Figure 8 - Incentive Sensitization Theory, ou "Théorie de la sensibilisation incitative". S+ = stimulus associé à la recompense. Références de la figure : (T. E. Robinson, 1993; T. E. Robinson & Berridge, 2008)

Cette théorie de la sensibilisation incitative (traduit de *incentive sensitization theory* en anglais) permet d'expliquer les comportements à risque, comme les consommations de substances addictives, mais également l'hypersexualité, la boulimie ainsi que les addictions comportementales (jeu pathologique, addiction aux écrans, stéréotypies comportementales) (M. J. F. Robinson et al., 2013). Elle permet par ailleurs d'illustrer les biais cognitifs relatifs au

[15] Cette modulation a également lieu au niveau neuronal dans le cortex préfrontal. Voir (Goldstein & Volkow, 2002, 2011).

système 1 de la théorie des processus duels (**Tableau 3**), et pourquoi certains comportements de l'individu semblent se produire de façon involontaire.

Ce cadre théorique est également applicable à la formation des habitudes de l'individu (comme les habitudes alimentaires, par exemple) : les individus vont produire des comportements automatiques, dirigés par un but qui peut être non-conscient, lorsqu'ils sont influencés par des stimuli de l'environnement (Marteau et al., 2012). Plus que du simple plaisir alimentaire, associé à l'appréciation des aliments (liking), les consommations d'individus sensibilisés à la récompense seront davantage guidées par la motivation des individus à les consommer (wanting). Bien que ces deux processus se produisent souvent simultanément, ils sont psychologiquement différents (Berridge, 2009). Les aliments palatables et les stimuli de l'environnement qui indiquent leur présence (odeurs, publicités, individus en train de manger) ont un pouvoir motivationnel sur l'individu. Dans un environnement riche en stimulations, l'envie de consommer des aliments palatables va contribuer à la probabilité qu'un individu surconsomme les aliments, malgré une intention de restreindre ses apports alimentaires (Berridge et al., 2010).

Par exposition répétée, les stimuli associés à la récompense vont biaiser les processus cognitifs et ainsi créer un **biais d'approche** chez les individus. Ce biais d'approche se manifeste par un biais attentionnel, ainsi qu'un déficit de contrôle inhibiteur top-down envers les stimuli associés à la récompense. Dans le cas de l'obésité, ces stimuli sont représentés par les aliments apportant du plaisir alimentaire, des aliments palatables à haute densité énergétique.

I – 2. 4. 2. Biais attentionnel en faveur des stimuli :

Les stimuli associés à la récompense vont automatiquement attirer l'attention des individus et être favorisés dans les traitements de l'information de façon bottom-up (*i.e.,* processus dirigés par l'environnement) et top-down (*i.e.,* processus dirigés par la cognition) de sélection des stimuli (Goldstein & Volkow, 2011). On va donc dire de ces stimuli qu'ils seront saillants : des informations relatives aux motivations de l'individu vont être sélectionnées plus facilement par l'attention. Cette tendance à la sélection attentionnelle, ou biais attentionnel, semble ainsi être renforcée par la valeur motivationnelle des aliments, qui vont donc être prioritaires dans le traitement de l'information (Appelhans, 2009; M. J. F. Robinson et al., 2013). Des biais attentionnels en faveur des aliments ont été observés chez les individus en obésité, de manière

congruente avec les modèles cités plus haut (Nijs et al., 2010; Werthmann et al., 2011; Yokum et al., 2011). Mais des processus homéostatiques internes à l'individu, et indépendants du statut pondéral, comme la faim, peuvent moduler ces biais attentionnels (Berridge et al., 2010; Castellanos et al., 2009; Mogg et al., 1998). La faim étant un processus naturel, la modulation de l'attention par la saillance des stimuli alimentaires est donc à différencier des phénomènes typiquement décrits dans les addictions.

I – 2. 4. 3. Déficit de contrôle inhibiteur

Les stimuli associés à la récompense, de par la saillance attentionnelle et cognitive dont ils bénéficient, vont biaiser le contrôle inhibiteur, c'est-à-dire la fonction exécutive qui permet d'inhiber les schémas cognitifs non-pertinents dans le cadre de l'action. Selon Volkow et al., la consommation de grandes quantités de nourriture palatable (aliments à haute densité énergétique) par des individus vulnérables (sensibilisés au plaisir alimentaire) peut modifier la balance des circuits de la récompense (Volkow et al., 2011). Ces circuits vont motiver et inhiber le comportement alimentaire. Lorsque les individus sont sensibilisés à la nourriture palatable, les circuits de la récompense suractivés pourraient moduler le contrôle cognitif en faveur de la consommation de nourriture palatable. Cette tendance ne s'exprimerait pas pour tous les individus, et, lorsque répétée, créerait des comportements alimentaires compulsifs, menant à l'obésité.

En effet, en plus d'une association à la récompense élevée pour les aliments, il semblerait que des modifications liées au contrôle inhibiteur amènent une plus forte tendance à la surconsommation, comme l'illustre Appelhans, 2009 dans le modèle de la faim hédonique (**Figure 9**, Appelhans, 2009). Ce modèle postule que la simple augmentation de la valeur appétitive des aliments par conditionnement ne suffit pas à expliquer l'augmentation de la faim hédonique (*i.e.,* la prise alimentaire par recherche de plaisir, en opposition à la faim homéostatique), mais qu'une baisse du contrôle inhibiteur au niveau du cortex préfrontal permettrait d'y contribuer. Les systèmes de contrôle cognitif et comportemental s'en retrouveraient ainsi affaiblis (Appelhans, 2009).

Selon ces deux théories, non-seulement les individus auraient une sensibilité accrue aux aliments, mais leur surconsommation serait rendue possible par un déficit au niveau des fonctions exécutives, comparativement au modèle décrit par Berridge dans le domaine des addictions (**Figure 8**). Ainsi, les fonctions d'inhibition seraient amoindries face aux aliments, ce qui pourrait activer des schémas comportementaux de consommation, sous forme d'impulsivité, ou « désinhibition » alimentaire. Ce phénomène est largement observé dans la boulimie (Volkow et al., 2011), mais semble également s'appliquer à l'obésité, dans une certaine mesure (Batterink et al., 2010). En effet, certaines études n'observent pas de différence au niveau du contrôle inhibiteur qui soit liée au statut pondéral, ce qui limite la généralisation à l'obésité des modèles décrits plus haut (Loeber et al., 2012; Meule et al., 2012). De la même manière que pour la saillance attentionnelle, certaines variables intrinsèques à l'individu, comme le style alimentaire (mangeurs restreints, M. Price et al., 2016), ou la faim et l'impulsivité (Nederkoorn et al., 2009) semblent moduler le déficit de contrôle inhibiteur chez les individus.

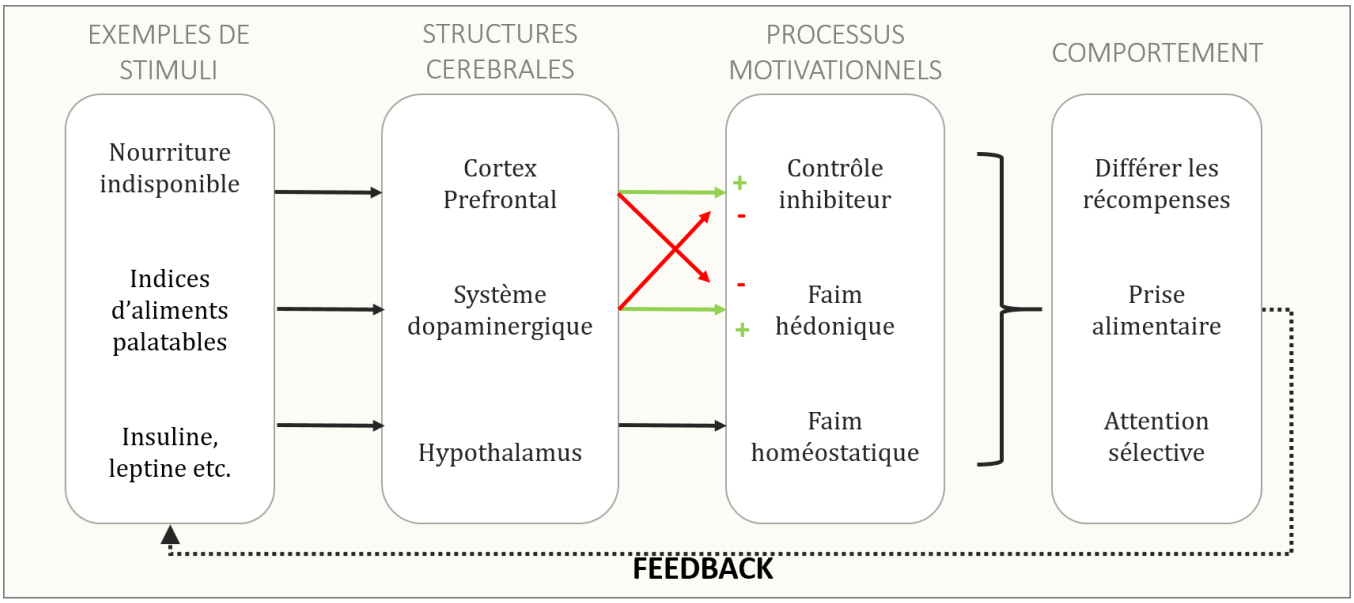


Figure 9 - Le modèle hédonique-inhibiteur de la faim (Appelhans, 2009).

Par ailleurs, des individus ayant un style alimentaire « externaliste » peuvent être facilement influencés par leur environnement : les individus ayant une tendance à **l'externalité** sont plus susceptibles de ressentir une augmentation de l'appétit ou d'avoir envie de manger au contact de stimulations alimentaires : vue d'une publicité, présence d'odeur de nourriture, présence de

personnes qui mangent. Les prises alimentaires, chez ces individus, ont tendance à être plus guidées par l'environnement que par les sensations internes de faim et de satiété (Schachter, 1968; van Strien et al., 2012). Cette tendance a été retrouvée dans plusieurs études comme étant exacerbée chez les patients en obésité (Nijs et al., 2010), ce qui renforce l'importance d'étudier les facteurs environnementaux et leur impact sur la cognition des individus de statut pondéral plus élevé.

I – 3. L'amorçage olfactif implicite comme réplication expérimentale des effets de stimuli alimentaires non-attentivement perçus de l'environnement.

Certaines caractéristiques propres à l'individu (niveau de faim, capacités cognitives, style alimentaire) semblent jouer un rôle important dans le traitement de l'information alimentaire. Les associations entre stimuli et réponses peuvent se créer et s'activer de manière automatique et non-attentive. Il est donc intéressant d'observer les freins et leviers liés au changement de comportement des individus par le biais de ces phénomènes. C'est notamment le cas des comportements de santé dans l'obésité (activité physique et alimentation) qui, comme nous l'avons vu en section **I – 1. 4.** du présent chapitre, ont du mal à être modifiés par les campagnes de prévention de santé basées sur des messages explicites. Il paraît ainsi aujourd'hui crucial de prendre en compte comment des indices alimentaires extérieurs à l'individu, ainsi que les caractéristiques individuelles, vont moduler le traitement cognitif de l'information alimentaire.

Comme nous l'avons vu précédemment, le contexte peut jouer un rôle dans la consommation d'aliments. Certains stimuli de l'environnement vont être non-attentivement perçus, activer des représentations liées aux aliments de façon automatique et contribuer à la sélection attentionnelle des stimuli alimentaires dans l'environnement, menant à un contrôle inhibiteur réduit, et donc à une potentielle surconsommation d'aliments palatables. Néanmoins, la plupart des études s'étant intéressées à l'effet de stimuli sur les biais cognitifs se sont focalisées sur la perception de stimuli **attentivement perçus**, dont l'individu était conscient.

En effet, les modèles relatifs à la sensibilisation (Appelhans, 2009; Berridge et al., 2010; Volkow et al., 2008, 2011) se basent sur la présence de stimuli attentivement perçus. Des résultats issus du champ des addictions montrent que des stimuli non-attentivement perçus ne

moduleraient pas les processus attentionnels et exécutifs de la même manière que les stimuli attentivement perçus (Goldstein & Volkow, 2011; Zhang et al., 2009). Peu de données relatives à l'alimentation sont disponibles à ce sujet. Pourtant, il a été démontré à plusieurs reprises que les stimuli non-attentivement perçus pouvaient moduler les comportements des individus, de manière souvent plus efficace que les stimuli attentivement perçus (Hess et al., 2004; Holland et al., 2005; Smeets & Dijksterhuis, 2014). C'est notamment le cas des études se situant dans le domaine de l'amorçage.

I – 3. 1. L'amorçage

L'amorçage, ou *priming* en anglais, est le phénomène par lequel des stimuli incidents de l'environnement influencent la cognition ou le comportement sans que l'individu en soit conscient (Marteau et al., 2012). Cet amorçage peut être non-attentivement perçu (*i.e.*, implicite), ou bien attentivement perçu (*i.e.*, explicite). L'exposition à des stimuli va activer ou inhiber des représentations en mémoire et celles-ci vont donc avoir un poids plus ou moins important dans les processus cognitifs ultérieurs (Lavrakas, 2008). Ces processus vont ainsi influencer l'individu et agir sur ses comportements de manière automatique (Marteau et al., 2012). Par exemple, dans une étude de 2009, Guerreri et al. ont observé que, suite à la lecture d'une histoire concernant une personne impulsive (amorce destinée à activer le concept d'impulsivité en mémoire), les participants consommaient plus de snacks, surtout s'ils avaient tendance à la restriction alimentaire (Guerrieri et al., 2009). Forwood et al., en 2016 ont également utilisé l'amorçage pour étudier les probabilités de choix alimentaires. Dans leur étude, l'amorçage consistait en l'exposition à des publicités pour les fruits et légumes. Les individus qui y avaient été exposés avaient tendance à choisir plus de fruits lors d'une tâche de sélection d'aliments ultérieure, surtout s'ils étaient en situation de faim (Forwood et al., 2015). Ainsi, certaines caractéristiques individuelles (ici, la faim) peuvent modifier les effets de l'amorçage sur les comportements alimentaires. Une étude de Friis et al., en 2017 s'est intéressée directement aux effets de l'environnement sur les individus. En amorçant le concept du « manger sain » par l'ajout de feuilles et d'odeurs d'herbes autour d'un buffet de cantine, les participants à leur étude ont consommé moins d'aliments à haute densité énergétique et moins de calories que ceux qui n'avaient pas été exposés aux amorces (Friis et al., 2017).

L'amorçage peut ainsi être vu comme une manière de répliquer les effets de l'environnement sur l'individu en laboratoire. De par les mécanismes d'activation et d'inhibition qu'il implique,

il s'agit également d'une méthode de choix pour étudier et expliquer les biais cognitifs. Néanmoins, dans les études citées plus haut, les stimuli étaient attentivement perçus par les participants. Par ailleurs, la plupart de ces études se sont intéressées à des stimuli visuels. Il apparait ainsi pertinent d'utiliser l'amorçage avec des modalités sensorielles proches de la prise alimentaire, comme par exemple l'olfaction.

I – 3. 2. L'olfaction

Parmi les cinq sens permettant la perception de stimuli externes, l'olfaction semble être le plus surprenant, par ses propriétés uniques et très différentes de celles des autres sens (Köster, 2002; Smeets & Dijksterhuis, 2014). A distance, l'olfaction nous permet de détecter les sources de nourriture environnantes, mais également d'identifier si ces nourritures sont propres à notre consommation (Stevenson, 2010). Une même odeur va donc être perçue différemment selon que sa source soit à distance de l'individu, ou bien qu'elle se situe dans la bouche de celui-ci, car dans ce deuxième cas la perception va être modulée par la présence des goûts de l'aliment, mettant l'olfaction au centre de la prise alimentaire. La synergie de ces deux perceptions se nomme la flaveur, perception dont la composante olfactive est souvent communément ignorée, amenant une confusion entre olfaction et goût. En effet, il est d'usage de dire que l'on a perdu le sens du goût lorsque l'on est enrhumé, tandis qu'en réalité c'est l'olfaction qui va être impactée, diminuant donc une partie importante de la perception de la flaveur (Rozin, 1982). Cette méconnaissance commune est un exemple simple qui illustre le fait que l'olfaction est un sens auquel nous sommes rarement attentifs. Köster, en 2002, décrit même l'olfaction comme étant un « sens caché » (Köster, 2002). En effet, le sens le plus souvent au centre de l'attention est la vision, suivie par l'ouïe et le toucher, laissant ainsi l'olfaction au second plan. Les odeurs attirent rarement l'attention lorsqu'elles ne « bousculent » pas nos sens : par exemple quand elles sont très plaisantes (parfum attirant, odeur d'aliment savoureux), très aversives (aliments pourris, cadavres), ou signalant le danger (feu, fuite de gaz) (Smeets & Dijksterhuis, 2014). Contrairement à la vision, pour laquelle un certain nombre d'informations vont être traitées de manière non-attentive, l'olfaction est un sens relativement passif jusqu'au moment où un stimulus est présenté. Ainsi, la conscience des stimuli olfactifs constitue plutôt l'exception que la règle (Köster, 2002). L'olfaction constitue donc une modalité de choix pour l'amorçage de stimuli non-attentivement perçus.

I – 3. 3. L'amorçage olfactif

I – 3. 3. 1. Etudes en amorçage olfactif implicite et alimentation

Certaines études se sont ainsi intéressées à l'amorçage olfactif implicite (*i.e.*, non-attentivement perçu) comme moyen d'influencer les choix alimentaires des individus. Les premières études sur l'amorçage olfactif implicite **dans le contexte alimentaire** sont celles de Gaillet et al. (Gaillet et al., 2013; Gaillet-Torrent et al., 2014). Dans ces travaux, plusieurs groupes de participants étaient invités au laboratoire afin de réaliser une tâche de choix alimentaire[16]. Avant cette tâche, les participants étaient exposés à des odeurs non-attentivement perçues dans une salle d'attente. Des odeurs étaient diffusées dans la salle : leur concentration était si faible que les participants n'étaient pas conscients de la présence des odeurs si leur attention n'était pas dirigée dessus. Le dispositif utilisé était un **dispositif inter-sujets** : un groupe de participants était exposé à l'odeur de façon non-attentive (*i.e.,* implicite), et un autre groupe (condition contrôle) n'était exposé à aucune odeur. Les résultats montrent qu'en odorisant une salle d'attente avec des odeurs de très faible intensité de melon (Gaillet et al., 2013) et de poire à l'insu des participants (Gaillet et al., 2013; Gaillet-Torrent et al., 2014), ceux-ci choisissaient des plats congruents avec les odeurs auxquelles ils avaient été exposés lors d'une tâche de choix alimentaire (**Figure 10**). Ces premiers travaux indiquent qu'une amorce olfactive, même non-attentivement perçue, peut activer des représentations mentales et influencer les comportements de choix alimentaires chez des adultes normo-pondéraux[17].

[16] Les participants venaient sous un faux prétexte destiné à ne pas attirer leur attention sur la présence d'une odeur.

[17] D'autres études ont été réalisées en utilisant l'amorçage olfactif. Il est notable de citer ici les travaux originaux de Holland, Hendriks & Aarts, 2005 qui ont exposé des participants à une odeur de citron de manière non-attentive. Ces auteurs ont observé que l'odeur activait le concept de nettoyage chez les participants, ceux-ci ayant également plus tendance à nettoyer les miettes des gâteaux qu'ils avaient mangé que ceux qui n'avaient pas été exposés à cette odeur (Holland et al., 2005). Dans une autre étude, Coehlo et al., en 2011 ont exposé des participants à une odeur de cookie et ont observé un effet de cette odeur sur la consommation ultérieure de cookies présentés à des participants, mais uniquement pour les participants qui avaient un style alimentaire restrictif (Coelho et al., 2009).

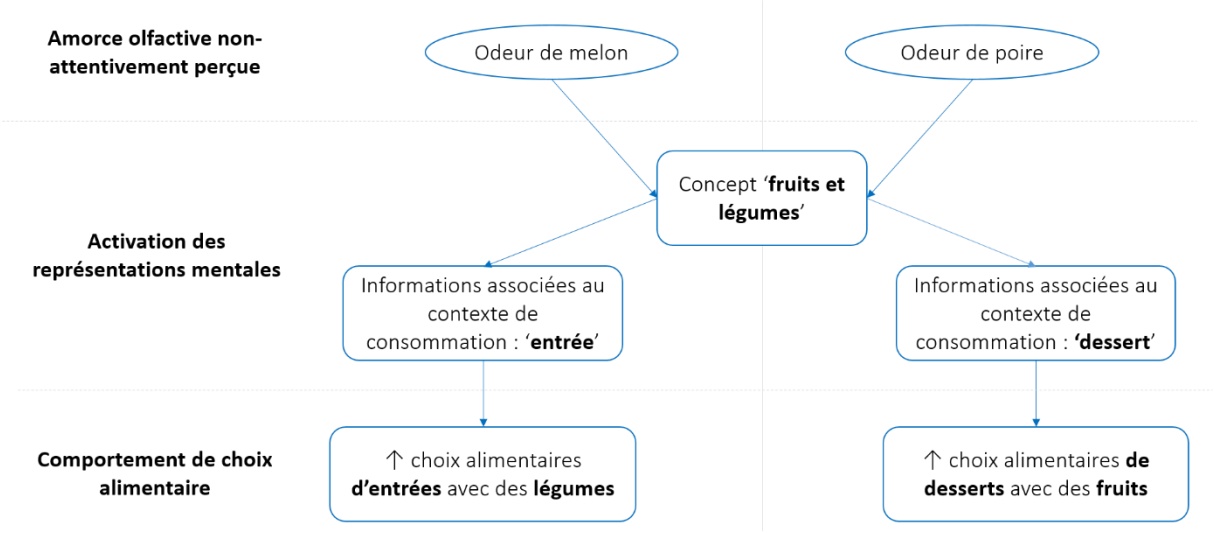


Figure 10 - Activation de représentations mentales et influences sur le comportement de choix alimentaires par des odeurs alimentaires non-attentivement perçues. Références de la figure : (Gaillet et al., 2013).

Afin de mieux comprendre comment les odeurs non-attentivement perçues pouvaient influencer le comportement alimentaire, Marty et al., 2017, ont étudié des effets d'amorçage olfactif implicite auprès d'enfants de statut pondéraux divers (Marty et al., 2017). En utilisant un paradigme d'amorçage olfactif **intra-sujet** (**Figure 11**), ces auteurs ont pu exposer de façon successive les enfants à plusieurs conditions : odeur non-attentivement perçue de poire, odeur non-attentivement perçue de quatre-quarts, et aucune odeur (condition contrôle). Ces auteurs ont observé que pour les enfants normo-pondéraux, l'exposition à des odeurs de poire et de quatre-quarts diminuait la probabilité de choix d'un aliment de bonne qualité nutritionnelle (fruit) dans une tâche d'intention de choix alimentaire. A l'inverse, pour les enfants en obésité, l'odeur de poire augmentait la probabilité de choix de fruits, tandis que l'odeur de quatre-quarts n'avait pas d'effet. Les résultats de cette étude ont démontré que **les effets d'amorçage dépendaient non-seulement de l'odeur utilisée, mais également du statut pondéral des participants**. Une des potentielles pistes explorées par cette étude est l'existence de représentations mentales différemment activées par les odeurs chez les enfants normo-pondéraux et ceux en obésité.

I – 3. 3. 2. Description du paradigme d'amorçage olfactif

Le paradigme d'amorçage olfactif utilisé dans l'étude de Marty et al. (Marty et al., 2017) est particulièrement intéressant car il permet d'amorcer successivement un même participant de

manière non-attentive à plusieurs types d'odeurs, ce qui n'était pas le cas dans les études d'amorçage réalisées par Gaillet et al. où l'amorçage était utilisé dans un dispositif inter-sujets (Gaillet et al., 2013; Gaillet-Torrent et al., 2014). La possibilité d'utiliser un paradigme d'amorçage olfactif **intra-sujet** permet ainsi de capturer plusieurs effets d'amorçage différenciés au sein d'un même individu dans un design expérimental où chaque individu est son propre contrôle. Le dispositif utilisé consiste en un set de plusieurs casques odorisés avec des odeurs à concentration suffisamment basse pour ne pas être détectées de manière attentive, mais néanmoins perceptibles dès lors que l'attention y est dirigée. Dans le cadre de l'étude du traitement de l'information, plusieurs parties d'une même tâche cognitive peuvent ainsi être réalisées par un individu, dans des conditions d'amorçage olfactif différentes. Cela permet ainsi de capturer uniquement les variations relatives au changement d'odeur (**Figure 11**).

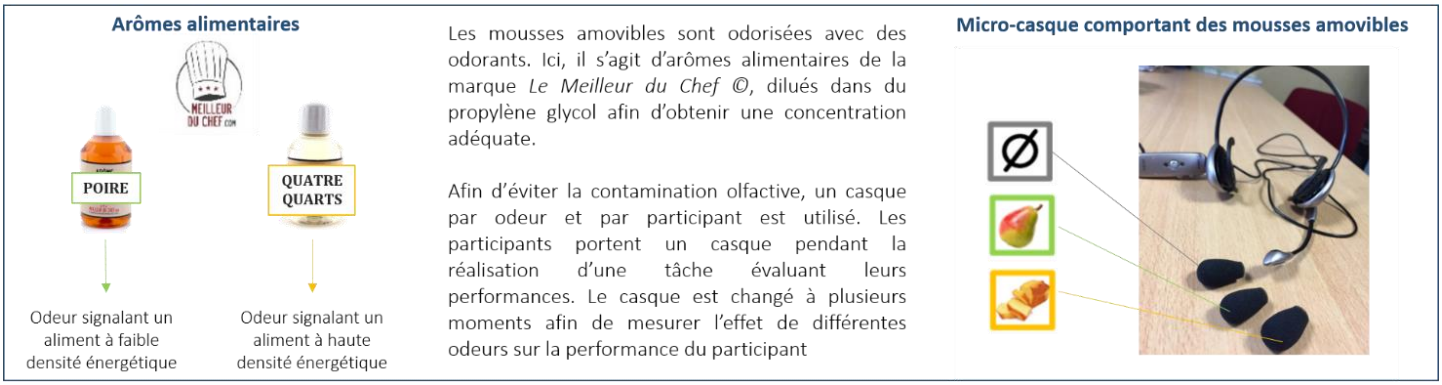


Figure 11 - Paradigme d'amorçage olfactif intra-sujet de Marty et al., 2017.

Ce protocole nécessite plusieurs aspects indispensables :

- Les odeurs doivent être non-attentivement perçues : leur concentration doit être suffisamment faible pour ne pas être détectée directement, mais celles-ci doivent rester perceptibles dès lors qu'elles sont au centre de l'attention. Afin de ne pas attirer l'attention des participants sur la présence des odeurs, toutes les études sur l'amorçage olfactif sont construites en invitant les participants sous un faux prétexte. La non-détection de l'odeur est assurée par les réponses des participants à un questionnaire d'investigation passé à l'issue de l'expérience (Gaillet-Torrent et al., 2014; Holland et al., 2005).

- Les odeurs doivent être préalablement associées à des représentations mentales en mémoire pour que celles-ci soient activées par l'amorçage. Plusieurs pré-tests réalisés

sur les adultes ont permis d'établir un lien entre des odorants sélectionnés et les réponses à des tâches d'évocation associées à ces odeurs (odeur de quatre-quarts = dessert, caramel, etc, ; odeur de poire = fruit, léger, etc., données non publiées).

- L'exposition aux odeurs doit être successive et exclusive. Ainsi, l'expérimentation doit être réalisée dans une pièce olfactivement neutre. A ces fins, il est primordial que les participants ne portent pas de cosmétiques parfumés et également qu'ils évitent de manger, boire autre chose que de l'eau, fumer ou mâcher du chewing-gum quelques heures (2 à 3 heures) avant le début de la séance (consigne donnée en amont).

- Les participants doivent avoir une capacité olfactive normale, c'est-à-dire ne pas avoir une sensibilité accrue aux odeurs, ni une hyposmie ou anosmie. Dans les études de Marty et Gaillet, ces conditions étaient validées en demandant au participant d'attester qu'ils avaient une capacité olfactive normale (Gaillet et al., 2013; Gaillet-Torrent et al., 2014; Marty et al., 2017). Afin d'obtenir plus de précision, cette condition peut être validée par la passation d'un test standardisé d'évaluation des capacités olfactives.

Par le lien étroit de l'olfaction avec l'alimentation, le dispositif d'amorçage olfactif implicite permet d'amorcer des participants avec des odeurs alimentaires non-attentivement perçues, répliquant les effets d'un environnement obésogène sur les processus automatiques de traitement de l'information. Il s'agit ainsi d'une méthodologie pertinente pour mieux comprendre l'interaction-environnement d'un point de vue cognitif. Par ailleurs, des différences d'effets des stimuli olfactifs non-attentivement perçus semblent exister entre les individus normo-pondéraux et en obésité. Ces aspects en lien avec les connaissances actuelles sur le fonctionnement cognitif des individus en obésité pourraient constituer un angle pertinent pour mieux comprendre comment les stimuli environnementaux non-attentivement perçus modulent les biais cognitifs dans l'obésité.

I – 4. Apports et objectifs du présent travail de thèse.

L'objectif de ce travail de thèse était pluriel. Comme il a été décrit en amont, l'obésité est une pathologie complexe, et la relation entre cognition et environnement obésogène selon le statut pondéral n'est pas encore bien comprise. Par ailleurs, la distinction entre stimuli alimentaires attentivement perçus et non-attentivement perçus ne semble pas être clairement prise en compte

dans les modèles explicatifs du fonctionnement cognitif de l'obésité (Appelhans, 2009; Berridge et al., 2010; Nijs et al., 2010; Volkow et al., 2011).

Le premier objectif de ce travail était de caractériser le traitement de l'information alimentaire ascendant (bottom-up) et descendant (top-down) des adultes en fonction de leur statut pondéral, par l'investigation des biais cognitifs. Le second objectif était d'observer les effets de stimuli alimentaires attentivement et non-attentivement perçus sur ces processus afin de mieux comprendre l'influence d'un environnement obésogène sur le traitement de l'information alimentaire. Le troisième objectif de cette thèse était de caractériser les capacités cognitives et olfactives des individus normo-pondéraux, en surpoids et en obésité, ainsi que certaines caractéristiques psychologiques qui pouvaient moduler le traitement de l'information. En effet, ces trois types de variables semblaient être présentes de manière différenciée chez les individus normo-pondéraux, en surpoids, et en obésité, mais aucun consensus scientifique n'a été établi pour le moment. Ainsi, ce travail de thèse vise à obtenir une compréhension sensorielle, cognitive, et psychologique des différentes catégories de statut pondéral.

Le présent chapitre (**chapitre I**) a permis de présenter le contexte et la problématique dans laquelle se situe ce travail, ainsi que les notions clés qui seront reprises au fil de ce manuscrit. Les chapitres suivants exposent les résultats des travaux menés tout au long de cette thèse.

Dans le **chapitre II**, la différence entre des odeurs attentivement et non-attentivement perçues est présentée dans le cadre de l'étude des biais attentionnels (processus bottom-up) face aux aliments en fonction du statut pondéral. Le **chapitre III** concerne les effets d'odeurs non-attentivement perçues sur les processus d'inhibition (processus top-down) face aux aliments des individus normo-pondéraux, en surpoids et en obésité.

Les **chapitres IV et V** sont respectivement consacrés à l'évaluation des capacités cognitives et olfactives des individus normo-pondéraux, en surpoids et en obésité.

Le **chapitre VI** s'attache à mieux comprendre le statut pondéral et tentera de caractériser les individus en fonction de plusieurs variables associées au comportement alimentaire : variables socio-démographiques, qualité de vie, style et habitudes alimentaires, image du corps et aspects psychologiques.

Dans le **chapitre VII**, les principaux résultats de ce travail sont discutés au regard de la littérature, et le **chapitre VIII** permettra d'établir des perspectives pour l'application de ces résultats en recherche et en clinique.

L'ensemble de ce travail permettra ainsi de mieux comprendre l'interaction individu-environnement en fonction du statut pondéral, en prenant en compte les caractéristiques de l'individu, ainsi que celles de son environnement qui expliquent la présence de biais cognitifs dans le traitement de l'information (**Figure 12**).

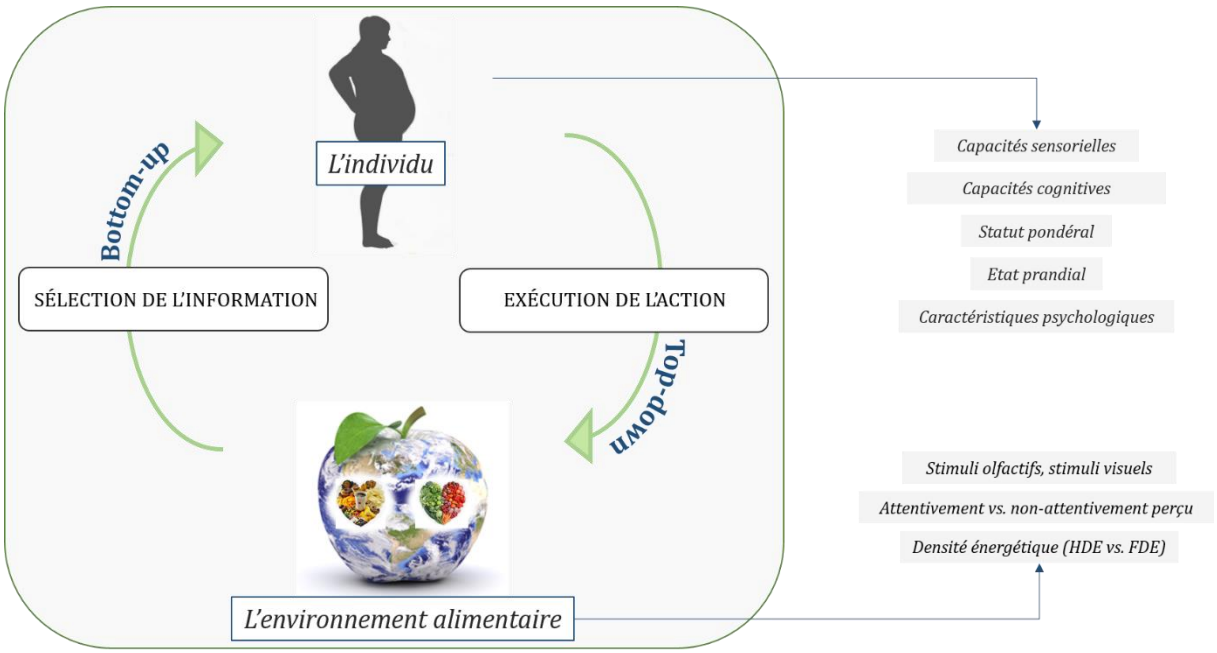


Figure 12 - Schéma de l'interaction individu-environnement dans le cadre de l'alimentation. HDE = haute densité énergétique ; FDE = faible densité énergétique.

CHAPITRE II – Statut pondéral et biais attentionnels envers les aliments : impact d'un amorçage olfactif

Les modèles basés sur la sensibilisation incitative (*incentive sensitization theory*, Berridge et al., 2010; Nijs et al., 2010; T. E. Robinson & Berridge, 1993 – présenté en **chapitre I – 2. 4. 2.**) postulent que les individus en obésité pourraient être plus sensibles à certains stimuli de l'environnement. Les aliments présents dans l'environnement pourraient ainsi être "saillants" pour les individus. Afin d'approfondir les connaissances à ce sujet, le présent chapitre concerne les biais attentionnels des individus de statut pondéral divers, exposés à un amorçage implicite et explicite.

Ce chapitre est constitué de la publication suivante :

Mas, M., Brindisi, M.-C., Chabanet, C., Nicklaus, S., & Chambaron, S. (2019). Weight Status and Attentional Biases Toward Foods : Impact of Implicit Olfactory Priming. Frontiers in Psychology, 10. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.01789

II – 1. Introduction

L'étude mentionnée dans ce chapitre comportait trois objectifs majeurs :

1. Caractériser les biais attentionnels envers les aliments en fonction du statut pondéral.

2. Observer les effets d'amorces olfactives sur les biais attentionnels envers les aliments d'individus normo-pondéraux, en surpoids et en obésité.

3. Comparer les effets d'un amorçage olfactif implicite et explicite sur les biais attentionnels.

CHAPITRE II – Statut pondéral et biais attentionnels envers les aliments : impact d'un amorçage olfactif

II – 1. 1. Objectif 1 : Caractériser les biais attentionnels envers les aliments en fonction du statut pondéral

Les individus auraient tendance à présenter un biais attentionnel en faveur des aliments, *i.e.* leur attention serait automatiquement attirée par les stimuli alimentaires, comparativement à des stimuli neutres. L'intensité de ce biais diffèrerait selon le statut pondéral de l'individu, le niveau de faim et selon le type d'aliment (haute densité énergétique (HDE) *vs.* faible densité énergétique (FDE) - (Castellanos et al., 2009)). Ce biais attentionnel pourrait être à l'origine de choix alimentaires délétères pour la santé et représenter un facteur cognitif intervenant dans le développement et/ou le maintien de l'obésité. Afin d'étudier ce phénomène, nous avons choisi de cibler le processus d'orientation de l'attention (Petersen & Posner, 2012; M. I. Posner & Petersen, 1990; Michael I. Posner, 1980) c'est-à-dire le processus par lequel l'attention va s'orienter automatiquement vers un stimulus.

Développement méthodologique : la Food Adapted Visual Probe Task

Afin de mesurer l'orientation de l'attention face aux aliments, nous avons adapté la Visual Probe Task (MacLeod et al., 1986) à l'alimentation. La Visual Probe Task est une tâche utilisée en psychologie cognitive pour évaluer les biais attentionnels. Dans cette tâche, deux stimuli[18] apparaissent simultanément durant 500ms. Au bout de 500ms, un point apparaît à la place d'un des deux stimuli. La tâche pour le participant est de détecter ce point (dire s'il est à gauche, ou à droite). En comparant les temps de réaction (TR) du participant lorsque le point remplace le stimulus cible aux temps de réaction du participant lorsque le point remplace l'image contrôle, nous pouvons inférer où son attention était initialement orientée entre les deux stimuli présentés. Les principales modifications apportées à la tâche initialement proposée par MacLeod et al. (1986) sont les suivantes :

[18] L'un est appelé « stimulus cible » car il s'agit du stimulus pour lequel nous nous attendons à observer un biais attentionnel. L'autre, dit « stimulus contrôle » est un stimulus neutre.

- Utilisation d'images d'aliments à haute (HDE) et faible densité énergétique (FDE), ainsi que d'images d'objets en guise de stimuli (matériel non verbal).

- Appariement entre les stimuli minutieusement contrôlé. Les images d'aliments et d'objets utilisés provenaient d'une base de données standardisée (FoodPics, Blechert et al., 2014), ce qui nous a permis de créer trois paires d'images (cf Fig. 2 de l'article ci-après). Toutes les paires d'images ont été réalisées sur la base de propriétés psychophysiques (taille, luminosité, contraste, couleurs, complexité et fréquence spatiale), de façon à ce qu'elles soient saillantes de façon équivalente en dehors du contenu représenté (aliment ou objet). Pour les paires d'images alimentaires, un contrôle supplémentaire a été effectué : ces images ont également été contrôlées en termes de perception du consommateur lors des pré-tests réalisés par questionnaires en ligne sur des sujets indépendants aux études mentionnées (n=126, données non publiées). L'objectif lors de la création des paires d'images alimentaires (haute *vs.* faible densité énergétique) était d'avoir des paires d'images équivalentes en termes de propriétés psychophysiques et également en termes d'hédonicité, d'appétence, de typicité catégorielle[19] et d'occurrence environnementale. Cela nous a permis d'obtenir des paires d'images dont la seule différence entre les deux images était la valeur santé perçue et la valeur calorique perçue par les consommateurs.

- Croix de fixation constante durant les essais afin d'éviter les mouvements attentionnels et amener le participant à rester sur le centre de l'écran entre les essais.

- Comparaison de trois types de biais attentionnels : (cf Fig. 2 de l'article ci-après)

    - Biais attentionnel envers les aliments à haute densité énergétique (HDE) face à des stimuli neutres (objets)

[19] Formulation de la question évaluant la typicité catégorielle : « Dans cette partie du questionnaire, nous vous demandons d'évaluer à quel point les aliments présentés sont "représentatifs" de la catégorie donnée dans la question. Pour vous aider, voici quelques exemples : Le labrador est l'élément le plus représentatif de la catégorie "chiens". Le canari est un animal beaucoup plus représentatif de la catégorie "oiseau" que l'autruche. »

- Biais attentionnel envers les aliments à faible densité énergétique (FDE) face à des stimuli neutres (objets)

- Biais attentionnel envers les aliments à haute densité énergétique (HDE) face à des aliments à faible densité énergétique (FDE)

Afin de pouvoir mesurer l'orientation attentionnelle automatique, plusieurs paramètres ont été contrôlés de sorte qu'aucun phénomène d'habituation ne puisse permettre au participant de deviner de quel côté apparaissait le point. De plus, des paires d'images standardisées ont été spécifiquement créées pour cette tâche. De cette manière, nous avons pu mesurer l'effet des stimuli alimentaires sur la cognition de l'individu de façon ascendante (*i.e.,* bottom-up, de l'environnement à l'individu).

L'attention est automatiquement dirigée vers l'une ou l'autre des images qui apparaissent durant un intervalle de 500ms, ce qui conditionne la réactivité dans la détection de la cible qui suit. En effet, si l'attention du participant est fixée sur l'image de gauche et que la cible apparaît à droite, par exemple, le coût du déplacement attentionnel va se traduire par un temps de réaction plus long, ce qui nous permet d'inférer où se situait l'attention entre les deux images présentées avant la cible. De cette manière, il est possible d'étudier le phénomène de saillance attentionnelle décrit dans le modèle de la sensibilisation incitative (incentive sensitization theory (Berridge, 2003, 2009; Berridge et al., 2010; T. E. Robinson & Berridge, 1993)).

II – 1. 2. Objectif 2 : Observer les effets d'amorces olfactives sur les biais attentionnels envers les aliments d'individus normo-pondéraux, en surpoids et en obésité.

Les participants portaient des casques équipés d'un micro dont les mousses étaient odorisées avec des odeurs d'aliment à haute (odeur de quatre-quarts) et faible (odeur de poire) densité énergétique durant la passation de la tâche, de façon similaire au protocole utilisé par Marty et al., 2017 (Marty et al., 2017). Les casques étaient utilisés pour amorcer les participants avec l'odeur, et également pour diffuser auditivement les consignes de la tâche afin de justifier leur présence. La Food Adapted-Visual Probe Task développée dans ce travail a été passée sous la

forme de 3 blocs (cf Fig. 3 de l'article ci après), séparés par de courtes pauses durant lesquelles les casques des participants étaient changés à leur insu. Ainsi, tous les participants ont été exposés (amorçage olfactif intra sujet) à une odeur de poire et de quatre-quarts et à une condition contrôle (aucune odeur), ce qui a permis la comparaison des biais attentionnels des individus en fonction de leur statut pondéral, du type d'image cible, et du type d'amorce olfactive.

II – 1. 3. Objectif 3 : Comparer les effets d'un amorçage olfactif implicite et explicite sur les biais attentionnels.

Afin de comparer les effets d'amorces olfactives non-attentivement perçues et attentivement perçues sur le processus d'orientation attentionnelle, les participants sont venus à deux séances au laboratoire. Dans les deux cas, le protocole était exactement le même (même tâche, mêmes odeurs aux mêmes concentrations), à la différence que lors de la première séance, ils n'étaient pas informés de la présence de l'odeur sur les mousses des casques **(séance implicite)** alors que dans la deuxième séance, ils étaient avertis de la présence d'odeurs sur les mousses des casques **(séance explicite).** Une condition d'amorçage explicite a ainsi pu être comparée à une condition d'amorçage implicite.

II – 2. Article: Weight status and attentional biases toward foods: impact of implicit olfactory priming.

Marine Mas[1*], Marie-Claude Brindisi[1, 2], Claire Chabanet[1], Sophie Nicklaus[1], Stéphanie Chambaron[1]

[1] Centre des Sciences du Goût et de l'Alimentation, AgroSup Dijon, CNRS, INRA, Université Bourgogne Franche-Comté, F-21000 Dijon, France

[2] Department of Diabetes and Clinical Nutrition, CHU Dijon, F-21000 Dijon, France

Abstract

OBJECTIVE: Numerous studies highlight the involvement of cognitive factors in the development and maintenance of obesity. We aimed to measure attentional biases (AB) toward foods (*i.e.* the individual tendency to automatically orient one's attention toward food stimuli) in normal-weight (NW) individuals and those with overweight (OW) and obesity (OB). We evaluated whether implicit or explicit exposure to olfactory food cues could modify AB.

METHODS: Eighty-five participants with different weight statuses took part in this experiment. We measured AB toward food pictures with an adapted visual probe task and the variations in AB while participants were primed with olfactory food cues (within-subject design: no odor/low-energy dense food odor /high-energy dense food odor). Odors were non-attentively perceived during session 1 (implicit condition) and attentively perceived during session 2 (explicit condition).

RESULTS: Our results highlighted AB toward food pictures, especially when foods were energy dense, regardless of weight status ($p<.001$). The olfactory priming effect was only significant in the implicit condition. Participants with obesity had a stronger AB toward foods when they were primed with a non-attentively perceived high-energy dense food odor than with a non-attentively perceived low-energy dense food odor ($p = 0.02$). The trend was reversed for normal-weight participants, while no significant effect was found for participants with overweight.

CONCLUSION: Our results support the hypothesis that an obesity-specific cognitive vulnerability may influence the processing of food-related stimuli and only while food cues are

non-attentively perceived. Future research should seek to understand the mechanisms of this phenomenon.

Introduction

Currently, one of the major goals of public health policy is to induce modifications in individual behaviors in order to improve global health. The main objective is to raise public awareness of unhealthy behaviors, ideally leading the population to adopt a healthier lifestyle. There is a particular focus on diet and, more precisely, food choices. In recent decades, several public policy measures have sought to influence the public with concrete actions, for instance providing consumers with nutritional information or implementing incentive interventions (Hill, Peters, Catenacci, & Wyatt, 2008; Knai, Lobstein, Petticrew, Rutter, & Savona, 2018; National Clinical Guideline Centre (UK), 2014; Programme National Nutrition Santé, 2004). Subsequent analyses have revealed that these measures often resulted in null or moderate short-term health improvements (Mozaffarian, Angell, Lang, & Rivera, 2018). Research has even demonstrated a boomerang effect, which indicates a need for innovative approaches to diet and behavior modification (Rabia, Knäuper, & Miquelon, 2006). Some authors link the meagre effect of these interventions to the fact that present solutions explicitly and directly target behavior, while food decisions often happen below the threshold of consciousness (Jacquier, Bonthoux, Baciu, & Ruffieux, 2012). However, the conscious and non-conscious mechanisms that motivate food choices are poorly understood. The lack of conclusive data on this subject illustrates the importance of disentangling the mechanisms that underlie food choices in order to improve the efficacy of public health strategies.

The World Health Organization (WHO) defines obesity as a disease in which excess body mass has accumulated to such an extent that health may be adversely affected (WHO, 2017; WHO/Europe approaches to obesity, 2017). The prevalence of obesity worldwide has tripled since 1975; it has been defined as the fifth cause of mortality worldwide. In France, nearly 50% of the adult population is currently considered obese or overweight (Anses - Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail, 2015). The current perspective on obesity is that it has a multifactorial etiology that involves biological, social, and behavioral aspects. Abundant research has been conducted in order to disentangle the complex mechanisms contributing to the development and maintenance of excess weight. Nevertheless,

obesity has thwarted researchers' efforts to characterize it. In addition, the term "obesogenic environment" is increasingly common in the scientific landscape, implying that environmental factors have also played a part in the current prevalence of obesity (Glanz, Sallis, Saelens, & Frank, 2005; Paquet et al., 2017; Swinburn et al., 2011, Townshend & Lake, 2017).

To be able to influence eating behavior, environmental stimuli must (1) be perceived by the sensory organs, (2) undergo cognitive processing, and (3) be considered relevant for individual goals. Each of these three conditions can be processed with separate and variable degrees of attention, from the premises of perception to the feedback concerning related behavior. Indeed, the interaction between an individual and his or her environment is determined by the cognitive processing of environmental information. Accordingly, an investigation into the cognitive processing of food stimuli could contribute to a better understanding of how the environment influences the individual food choices that play a potential role in overweight and obesity. According to the "foraging theory" of Manohar (Manohar & Husain, 2003), attention can be regarded as a low-cost alternative to moving around and physically interacting with the environment before a decision is made to interact physically with the world.

Individuals are constantly flooded with food-related sensory information: visual or auditory messages about nutrition, streets lined with restaurants, food advertising, and so on (Swinburn et al., 2011; Glanz, Sallis, Saelens, & Frank, 2005; Paquet et al., 2017). However, our limited processing resources make it impossible to fully capture the perception and processing of sensory information (Chun, Golomb, & Turk-Browne, 2011). In a 2008 review of the literature, Cohen demonstrated that food choices are mostly made automatically and that the influence of the environment on such choices is often insidious, asserting that "excessive food consumption occurs in ways that defy personal insight or are below individual awareness" (Cohen, 2008). This statement highlights the existence of two types of environmental stimuli: non-attentively-perceived food stimuli (implicit exposure) and attentively perceived food stimuli (explicit exposure).

Previous studies comparing those two modes of exposure show that implicitly perceived stimuli have more influence on behavior than attentively perceived stimuli, as they seem to have a different influence on cognitive processes (Holland, Hendriks, & Aarts, 2005; Hess, Hinson, & Statham, 2004; Smeets & Dijksterhuis, 2014). Regarding public health policies, initial studies

on nudging (*i.e.* modifying the environment in a non-invasive manner in order to subconsciously influence behavior) have shown interesting results on food choice. In 2017, a study found that putting participants in a green and leafy environment led to a decrease in the consumption of high energy food (chili con carne) and an increase in the consumption of low energy food (salad) (Friis et al., 2017). Nudging approaches are based on guiding consumer toward a different choice without modifying incentives or decreasing the number and probability of options (Thaler & Sunstein, 2009). In this context, we can view priming as a form of nudging, considering that it is defined as the exposure to a stimulus which activates a concept that is then given increased weight in subsequent judgments.

Studies have shown that implicit priming with food odors may influence food choices in adults, the elderly and in children. Gaillet et al. (2013) and Chambaron et al. (2015) showed the effect of implicitly perceived food odors (pear) on subsequent food choices in normal-weight adults, supporting the hypothesis of food–cue specific priming effects. In those studies, people were more likely to choose a healthy dessert when they were implicitly primed with a pear odor than in the control condition (Chambaron, Chisin, Chabanet, Issanchou, & Brand, 2015; Gaillet et al., 2013). In an attempt to stimulate food intake in people with Alzheimer's Disease (AD), Sulmont-Rossé et al. (2018) diffused a meaty odor into the dining room of Alzheimers' units before lunch. The authors hypothesized that a food odor would trigger food-related mental representations, which in turn may stimulate appetite, willingness to eat, and food intake through implicit processes (priming effect). The results revealed a significant effect, with a 25% increase in meat and vegetable consumption when a meat odor was primed, compared with control condition. Behavioral assessments also showed that residents were significantly more interested in the meal when it had been primed. In addition, Marty & al. (2017) showed that implicitly perceived food odors (low-energy dense food odor –pear- vs high energy dense food odor - pound cake) influence food choices intentions in children with normal-weight status and overweight. Children with overweight and obesity were more likely to choose healthy foods than children with a normal weight status when both were implicitly primed with the low energy dense food odor. The authors hypothesized that the differences in influence of primes were linked to differentiated activation of mental representations depending on weight status. Those results indicate that olfactory priming affects the processing of food choices. Olfactory stimuli are able to draw attention unless they are particularly pleasant or strong (Smeets & Dijksterhuis, 2014), making them appropriate primes to be (1) used in a context of implicit priming and (2)

combined with an assessment of cognitive processes. These findings indicate that olfactory stimuli are appropriate for the study of implicit priming effects on individuals' food choice processing because they seem to influence food choices and the activation of mental representations that underlie those choices. To our knowledge, the effects of implicit and explicit olfactory priming effects have not yet been investigated in studies on eating behaviors.

In order to assess the cognitive treatment of food stimuli, we focused on the attentional selection of visual stimuli involved in the earliest stages of cognitive information processing (Posner, 2016). Attentional selection begins with the initial orienting of attention: the orienting network is focused on the ability to prioritize sensory inputs by selecting a location in space (Posner, 1980). Attentional biases (AB) are cognitive biases, which can be described as automatic adaptive processes enabling the most representative perception of reality with the lowest cognitive cost. They are defined by the fact that certain types of stimuli are more salient for the individual, and are consequently more prone to visually attract attention and undergo cognitive treatment. Munneke (2016) characterized salient stimuli in general as stimuli that (1) relate to an individual's motivation, and (2) that are associated with reward. Food stimuli fulfil those two conditions because eating is necessary for survival, and is consequently tied to strong individual motivation (Hopkins, Blundell, Halford, King, & Finlayson, 2000). In addition, the sensations of pleasure and satiation associated with food consumption activate the dopaminergic system, similar to addictive substances, and are thereby strongly associated with reward (Kringelbach & Berridge, 2009; Joyner, Kim, & Gearhardt, 2017; Alonso-Alonso et al., 2015).

Several authors have already investigated attentional biases toward food stimuli, in various populations (normal weight and obese adults, restrained eaters, children and adolescents) and confirmed that these biases are significant (Mogg, Bradley, Hyare, & Lee, 1998; Castellanos et al., 2009; Kemps, Tiggemann, & Hollitt, 2016; Yokum, Ng, & Stice, 2011; Shank et al., 2015; Werthmann & al. 2011). These studies show that the intensity of ABs toward food stimuli differs according to, first, situational characteristics such as prandial state: hungrier people display stronger ABs (Mogg et al., 1998, Castellanos et al., 2009; Forestell, Lau, Gyurovski, Dickter, & Haque, 2012). Secondly, intensity is modulated by individual characteristics such as weight status (people with overweight or obesity tend to have higher AB, especially when hungry or craving certain foods) (Castellanos et al., 2009; Hendrikse et al., 2015; Werthmann

et al., 2011; Yokum et al., 2011), personality traits (attentional impulsivity is correlated with greater ABs toward foods) (Hou et al., 2011), and eating styles (external eaters showing greater AB for example) (Hou et al., 2011). Thirdly, the characteristics of the stimulus can intensify AB, for example foods that represent a significant source of energy or of danger (Garcia-Burgos, Lao, Munsch, & Caldara, 2017).

Moreover, in 2016, Kemps et al. observed that, in adults, the intensity of ABs toward food stimuli could be used to predict weight gain one year after the first measurement. Werthmann et al. also reported the predictive effect of AB on weight loss, but in a study of weight loss in obese children (Werthmann et al., 2015). Finally, Cohen (2008) indicated that increased salience could enhance the probability that a food would be chosen. In sum, attentional biases appear to be a key point in decision-making, and food choices are not an exception to the rule.

The above studies support the hypothesis that there are food-specific ABs that may differ in relation to weight status and that their presence can be linked to weight evolution. In an obesogenic environment, such biases could denote a cognitive vulnerability, making adults with obesity more prone to the cognitive treatment of food stimuli and thus more likely to seek, choose and overconsume foods, especially when they are energy dense. Combined with the previously described obesogenic environment, this cognitive bias is an unsettling factor for the energy intake/expenditure balance, making unhealthy foods more salient, and pushing individuals to make unhealthy food choices (Cohen, 2008).

The aim of this study was to explore attentional biases toward food stimuli in normal-weight individuals, and in those with overweight or obesity. In order to investigate the influence of environmental food cues on such biases, we assessed attentional biases while implicitly and explicitly priming with olfactory food cues, *i.e.* odors signaling a high energy dense (HED: pound cake odor) or a low energy dense (LED: pear odor) food.

The first objective of our experiment was to characterize attentional biases in people with different weight statuses. We aimed to replicate previous results with the hypothesis that people with obesity would present stronger ABs toward foods, especially when these foods were energy dense, than participants with normal weight. It was assumed that participants with overweight would present an intermediate model. Secondly, we intended to investigate the specific effect of food cues (odors suggesting HED or LED foods) on ABs for each weight

status group. Our hypothesis was that the olfactory prime type would have food-cue priming effects that would differ between groups. The third objective was to evaluate the impact of implicit vs explicit exposure to food odors on the visual processing of food cues in order to establish whether implicitly perceived odors would have a stronger influence on ABs.

Material and methods

Participants

Overall, 107 adults aged 25 to 59 years old were included in this study. We divided our sample into three categories of weight status based on body mass index (BMI, kg/m², Komaroff, 2016; Nuttall, 2015): normal-weight (NW; 18.5 ≤ BMI < 25, n=41), overweight (OW; 25 ≤ BMI < 30, n=35), and obesity (OB; BMI ≥ 30, n=31).

Participants were recruited from the population registered in the Chemosens Platform's PanelSens database. This database complies with national data protection rules and has been vetted by the appropriate authorities (Commission Nationale Informatique et Libertés – CNIL – 135 n°1148039).

Exclusion criteria were: chronic disease (such as diabetes, hypertension or any type of cardiovascular disease), specific diet (such as vegetarian, gluten free, fat free, salt free), medical treatment that may affect mental awareness, bariatric surgery history, pregnancy, anosmia, or chronic sinusitis. Furthermore, we instructed participants to postpone the date of their session if they were feeling symptoms of the flu or a cold to avoid the possibility of decreased olfactory capacities. Moreover, we checked participants' olfactory capacities with the European Test of Olfactory Capacities (ETOC – Thomas-Danguin et al., 2003) in order to ensure that the sample had a proper sense of smell (detection and identification) while priming them with low-concentrated odors.

The study was conducted in accordance with the Declaration of Helsinki and was approved by the local ethical committee (Comité d'Evaluation de l'Ethique de l'Inserm – CEEI, File number IRB 0000388817-417 - Project number X 467). This research study adhered to all applicable institutional and governmental regulations concerning the ethical use of human volunteers.

Written informed consent was obtained from participants before their participation, though they came to the sessions under a false pretense (*i.e.* to participate to a computerized experiment on picture categorization). At the end of the experiment, participants were entirely debriefed and told the real purpose of the study. In return for their participation, the participants received a €20 voucher at the end of the two sessions.

Session

Our study was held in two sessions, about 10 days apart. Participants were told to come to the laboratory, under a false pretense, at lunchtime (12:00). They were instructed to refrain from eating, smoking and drinking anything, except water, for three hours before the session. They were also asked not to wear any perfume/scented cosmetics on the day of the sessions.

During the two sessions, participants completed The Food Adapted Visual Probe Task (FA-VPT), while being primed with implicit (session 1) and explicit (session 2) food odors (Marty et al., 2017). At the end of the second session, participants answered a psychological assessment questionnaire.

Each session began and ended with a short questionnaire about the level of hunger (*"On a scale of 1 (not hungry at all) to 10 (very hungry), how hungry do you feel right now?"*) mode of transportation to come to and leave the laboratory (decoy questions to distract participants from the real purpose of the study). Before computing the FA-VPT dominant hand, age, and sex of the participants were measured. Participants were seated in front of a computer screen and instructed not to move their head during the task. During the experiment, the instructions related to the task were given through a headset-microphone in order to justify the presence of the headsets used for olfactory priming.

Food Adapted Visual Probe Task

In order to assess attentional biases toward food, we adapted the Visual Probe Task (MacLeod, Mathews, & Tata, 1986), which is classically used for measuring attentional biases (Petrova, Wentura, & Bermeitinger, 2013; Price, Lee, & Higgs, 2016; Mogg, Bradley, Field, & De Houwer, 2003; Iacoviello et al., 2014).

A fixation cross appeared on the center of the screen at the beginning of each session and remained on screen throughout. After 500ms, two stimuli appeared simultaneously on the right and left side of the fixation cross. Immediately after, a probe (white dot, Arial, 50) replaced one of the two images and remained on screen until the participant indicated its location (left or right, see Fig. 1). No feedback was given to the participant in order to avoid interference in attentional processes (Kluger & DeNisi, 1996). Then, the following trial began 500ms after a manual response was given.

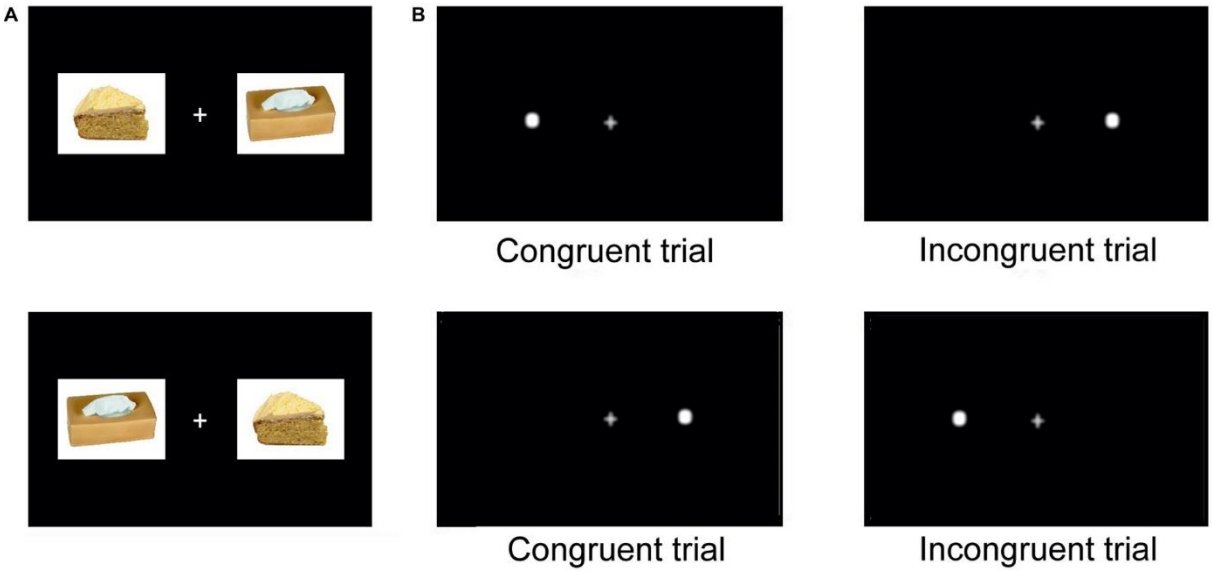


Fig. 1. Food Adapted-Visual Probe Task trials. (A) stimuli pairs appeared during each block in the two orders (2 presentations). (B) the white dot appeared either on the left or on the right side of the fixation cross (2 presentations). This gives 4 presentations per stimuli pair within each block 2 (picture position) x 2 (probe position). When the dot replaces the critical stimulus, the trial is considered congruent. When it replaces the control stimulus, the trial is considered incongruent.

In our experiment, the task began with a brief training session comprising 20 trials using 5 pairs of neutral stimuli (pictures of everyday life objects from FoodPics database, Blechert, Meule, Busch, & Ohla, 2014) appearing 4 times each. This training aimed to familiarize participants with the repetition of image pairs and to ensure task comprehension. After the initial training session, participants completed 3 blocks, punctuated by short breaks (3 minutes). Blocks were comprised of 168 trials each: 42 pictures pairs appeared four times in a random order (see Fig. 1). Participants were instructed to indicate the location of the dot by pressing a key on an

AZERTY keyboard (A for left and P for right). The dot appeared during each trial. It replaced the critical stimulus in 50% of trials (congruent trial), and the control stimulus in 50% of trials (incongruent trial). Reaction times (RT) for each trial were recorded in milliseconds.

Stimuli

In order to assess attentional biases toward food stimuli, we chose to use visual stimuli. They were pictures selected from the database FoodPics (Blechert et al., 2014). A first sorting was made in order to exclude complex pictures and culturally inappropriate foods for a French sample. Pictures were matched so as to obtain three types of pairs of stimuli:

1. HED-CTL (High Energy Dense – Control): Image of a high energy dense food paired with a neutral control image (everyday life objects from FoodPics database) in order to study attentional biases toward high energy dense foods.

2. LED-CTL (Low Energy Dense – Control): Image of a low energy dense food paired with a neutral control image (everyday life objects from FoodPics database) in order to study attentional biases toward low energy density foods.

3. HED-LED (High Energy Dense – Low Energy Dense): Image of a high energy dense food (muffin, chocolate bar) paired with an image of a low energy density food (apple, watermelon slice) in order to observe how attention is oriented when presented with two food stimuli with contrasting energy densities.

The perceptive properties of each pair of pictures were matched – color, size, brightness, within-object contrast, spatial frequency and complexity. The perceptive dataset was standardized and used to calculate the Euclidian distance matrix between pairs of pictures. Then, pairs of pictures with similar features were chosen and subsequently validated by three experimenters.

Fourteen pairs were formed for each pair type. Each pair contained one critical stimulus and one matching control stimulus. For odor-congruency reasons, we chose to use only pictures of sweet foods, with a contrast in energy density to reflect the continuum of healthy-unhealthy foods. An online survey was created a posteriori in order to ensure the matching of food pictures among HED-LED pairs. We assessed perceived hedonic value (n=125), appetence (n=86), perceived healthiness (n=69), perceived energy density (n=69), categorical representability

(n=48), and environmental occurrence (n=46) which were evaluated for each pre-selected picture representing food by an independent participant sample. As the picture database was not created for a French sample, we also checked that the foods in the chosen pictures were easy to recognize for French participants. Furthermore, food picture pairings (HED-LED) were chosen according to perceived differences in healthiness (n=69) and in energy density (n=69) from the online survey. See examples of resulting picture pairs in Fig. 2



Fig. 2. Picture pairings. (A) Example of HED - CTL, designed to assess AB toward high energy dense foods. (B) Example of LED - CTL, designed to assess AB toward low energy dense foods. (C) Example of HED - LED, designed to assess where attention is oriented between two stimuli of contrasted energy density.

Olfactory priming paradigm

During the task, participants were primed with different olfactory food stimuli, according to the paradigm developed by Marty et al. (2017). Throughout the sessions, oral instructions for the FA-VPT were transmitted to participants through a headset. Participants wore three successive headsets whose microphone had been odorized beforehand. Experimenters switched the headsets during break times, unbeknownst to participants.

This experiment comprised three different olfactory prime type conditions: fruity odor (pear odor, priming low energy dense food), fatty-sweet odor (pound cake odor, priming high energy dense food) and control condition (no odor). As each session comprised three FA-VPT "blocks", experimenters changed the headsets during the 3-minute pauses out of participants' sight, in order to prime them successively with the three olfactory prime types (pound cake, pear, none). A William Latin Square design was used to determine the order of the olfactory prime presentation in order to balance the order and first order carryover effects of the olfactory prime types (Fig. 3). For each olfactory prime, participants performed 168 trials of the FA-VPT consisting in 14 pairs of images per type presented according to the four modalities described in Fig.1

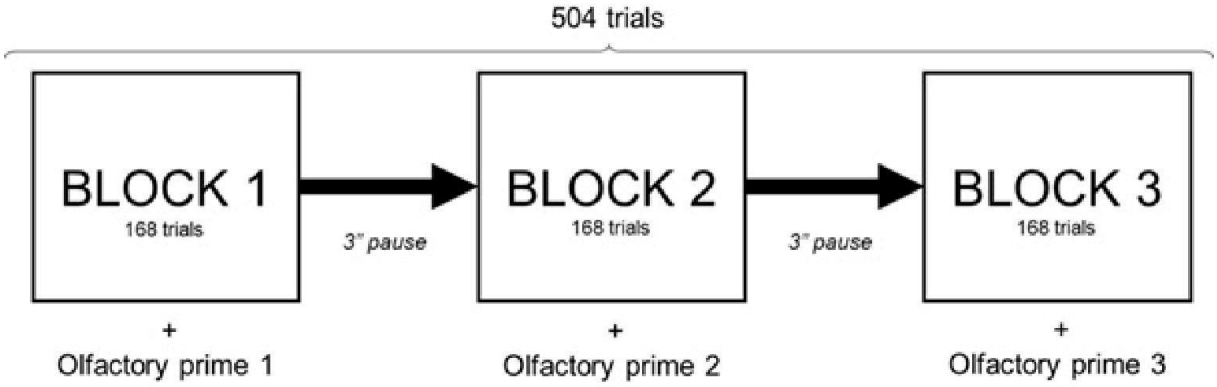


Fig. 3. Design of the olfactory priming paradigm within Food Adapted-Visual Probe Task. Visual Probe Task setting for each session, olfactory prime type order determined by William Latin square design to balance the order and first order carryover effects of the olfactory prime types.

During session 1, participants were non-attentively exposed to the olfactory primes (implicit session) while performing the FA-VPT: they were not told about the odors on the microphones of the headset, and an investigation questionnaire filled out at the end of session confirmed that the odors and headset changes were not perceived. During session 2, participants received information about the presence of "some odorized foam" on the microphone of their headset before they performed the FA-VPT (explicit session).

Afterwards, participants responded to the Questionnaire for Eating Disorder Diagnosis (Mintz, O'Halloran, Mulholland, & Schneider, 1997, French translation from Callahan et al., 2012), for the detection and exclusion of participants suffering from eating disorder according to the Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorder, fourth revised edition (DSM IV TR, American Psychiatric Association, 2000).

At the end of the two sessions, participants were debriefed. They were told the real purpose of the study and given details about the experimental design (hypotheses, implicit priming during session 1, and odor types).

To summarize, 4 variables of interest were studied in this experiment: weight status (normal-weight, overweight, and obesity), pair type (HED – CTL, HED – LED, and LED – CTL), mode of exposure (implicit and explicit), olfactory prime type (fatty-sweet odor: pound cake, fruit odor: pear, none as control). This design yielded 9 experimental conditions (pair type x olfactory prime type, 3 x 3) for each mode of exposure (implicit and explicit). Participants were exposed to each possible condition.

Statistical analysis

First, we used medians to summarize reaction times measured in each condition, for congruent trials on the one hand, and for incongruent trials on the other hand. Medians were calculated over 28 values (14 pairs x 2 presentations).We then computed RT bias scores by subtracting the reaction time in congruent trials from the reaction time in incongruent trials, in each individual for each condition, as suggested by Price et al. (2015): RT bias score = RT for incongruent trials – RT for congruent trials. The orienting of attentional bias expressed as the bias score was used as the dependent variable in our study.

A positive RT bias score (bias score>0) indicated an attentional bias toward the critical stimulus. A negative RT bias score (bias score<0) indicated an avoidance attentional bias for the critical stimulus (MacLeod et al., 1986). One normal-weight participant was excluded at this step because of extreme avoidance (5 values over 9 less than -100ms in the implicit condition, see Supplementary Material data for details).

Statistical analysis was performed with R.3.4.3 software (R Development Core Team, 2008) using linear mixed models (nlme package v. 3.1-131) (Pinheiro & Bates, 2018) to explain the attentional biases expressed in bias scores. Specific contrasts were subsequently tested using the contrast package (Kuhn, 2016). The significance threshold was set at 0.05

Previous work on implicit olfactory priming (Gaillet et al. 2013; 2014; Chambaron et al., 2015; Marty et al. 2017) was not designed to compare implicit and explicit conditions, but focused on the assessment of implicit olfactory priming effects. In the present study, the same type of analyses were computed for the implicit on the one hand and explicit conditions on the other hand to stay in line with previous work: the initial model for each mode of exposure involved all three fixed factors (weight status x pair type x olfactory prime type) and all interactions up to order three, with the random individual factor. Then, the non-significant terms were removed unless they were involved in a significant higher order term.

In order to check for differences in participants' characteristics between weight status group, we used ANOVAs for quantitative variables (age, BMI, level of hunger, hunger level before session, hunger progression) and chi-square tests for qualitative variables (sex, level of education). When a significant difference was detected, between-group comparisons were performed with t-tests and chi-square tests respectively for quantitative and discrete variables.

Results

Participant characteristics and exclusion

Participants who indicated that they had noticed a food odor in the questionnaire at the end of session 1 were excluded from the study in order to ensure that every participant was non-attentively exposed to the olfactory cues. Three additional participants were excluded because their answers to Q-EDD indicated that they were suffering from an eating disorder according

to the DSM-IV TR (Mintz et al., 1997, Callahan et al., 2012). The European Test of Olfactory Capacities found no specific impairment in the sample. The flowchart for exclusion criteria can be found in Fig 4.

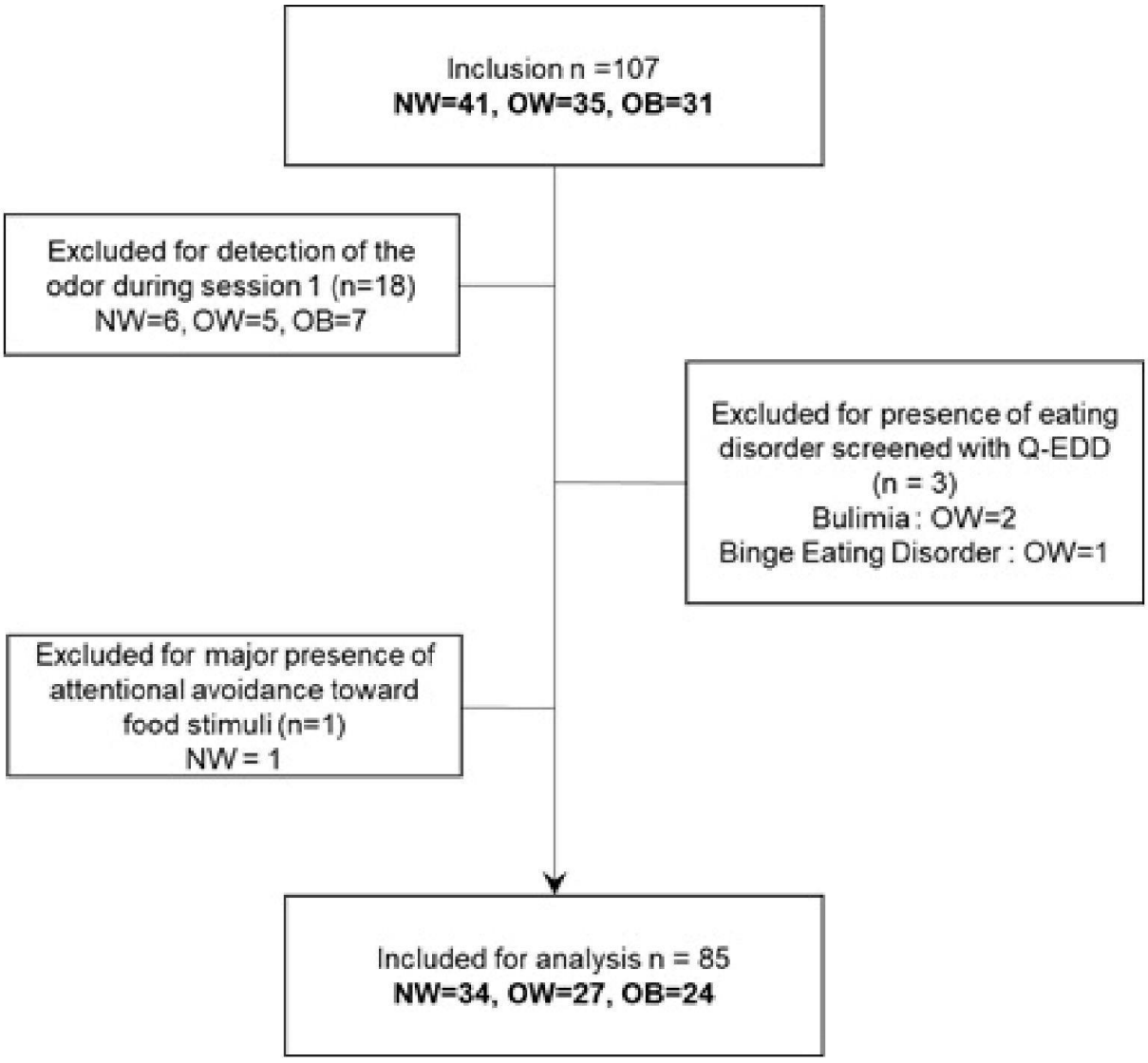


Fig. 4. Flowchart of exclusions. NW = participants with normal weight, OW = participants with overweight, OB = participants with obesity.

After the exclusion criteria were applied, 85 participants (34 participants with normal weight, 27 with overweight and 24 with obesity) remained for analysis. See sample characteristics in Table 1.

Table 1: Participants characteristics. Quantitative variables expressed as mean (SD)

	Weight status		
	Normal-weight (NW) n=35 (41%)	Overweight (OW) n=26 (31%)	Obesity (O) n=24 (28%)
Age (y): p=0.03	35[a] (*6.8*)	39[b] (*7.9*)	40[b] (*10.3*)
BMI (kg/m²): p<0.001	22[a] (*1.6*)	27[b] (*1.2*)	34[c] (*4.2*)
Hunger level before session (1-10): p=0.04	6.1[b] *(2.0)*	5.4[b] *(2.1)*	4.5[a] *(2,6)*
Hunger progression: p=0.24	0.4 *(1.3)*	0.2 *(1.5)*	1.03 *(2.2)*
Sex: p<0.001			
Women	17[b] (49%)	14[b] (54%)	21[a] (88%)
Men	18[b] (51%)	12[b] (46%)	3[a] (17%)
Level of education: p=0.15			
< Bachelor's degree	7 (20%)	8 (31%)	10 (42%)
Bachelor's degree	14 (40%)	12 (46%)	11 (46%)
> Bachelor's degree	14 (40%)	6 (23%)	3 (12%)

[a, b, c] Superscript letters are associated to values (means or numbers) , same letters indicating that the difference between values is not significant.

The sample was divided into three groups according to weight status; BMI ranged from 18.75kg/m² to 45.67kg/m².

Participants were 25 to 59 years old. Participants with NW were significantly younger than participants with OW (-4.5 years, p=0.04) and participants with OB (-5.0 years, p=0.02), but the two latter groups' age did not differ (p= 0.78). These variations are consistent with the observation that weight excess increases with age (INCA 3 : Evolution des habitudes et modes de consommation, de nouveaux enjeux en matière de sécurité sanitaire et de nutrition | Anses - Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail, s. d.).

At the beginning and at the end of the sessions, a Likert scale was used to evaluate hunger level: "On a scale of 1 (not hungry at all) to 10 (very hungry), how hungry do you feel right now?" Participants with obesity expressed less hunger at the beginning of the sessions than normal-weight participants (p=0.012). No differences were observed otherwise, and the progression of the feeling of hunger (calculated by substracting hunger before experiment to hunger after experiment) was similar in all three groups.

Our sample comprised more women than men (61%), which is typical of non-clinical trials involving people with overweight and obesity. The sex ratio in the obesity group was significantly different from the overweight (p=0.002) or normal-weight groups (p=0.001). The normal-weight and over-weight groups were not different in terms of sex ratio (p=1). Moreover, no difference between groups was found concerning level of education.

Implicit mode of exposure

In the implicit condition, weight status x olfactory prime type was significant ($F(4, 651) = 2.73$, $p = 0.02$), while other interactions were non-significant. Regarding the main effects, only pair type was significant ($F(2, 651) = 20.61$, $p < 0.001$).

Then, non-significant terms were removed from the model, and contrasts were assessed to interpret significant effects and interactions. Regarding weight status x olfactory prime type interaction (Fig. 5(B)), bias scores in OB were higher with the pound cake odor than with the pear odor (+7.36 ms, p=0.02) and were higher in NW than in participants with OB exposed to pear odor (+6.91 ms, p=0.02). Moreover, bias scores tended to be higher with pear than with pound cake odors in NW (+4.52 ms, p=0.08) and they also tended to be higher in OB than in NW when exposed to pound cake odor (+4.97 ms, p=0.09).

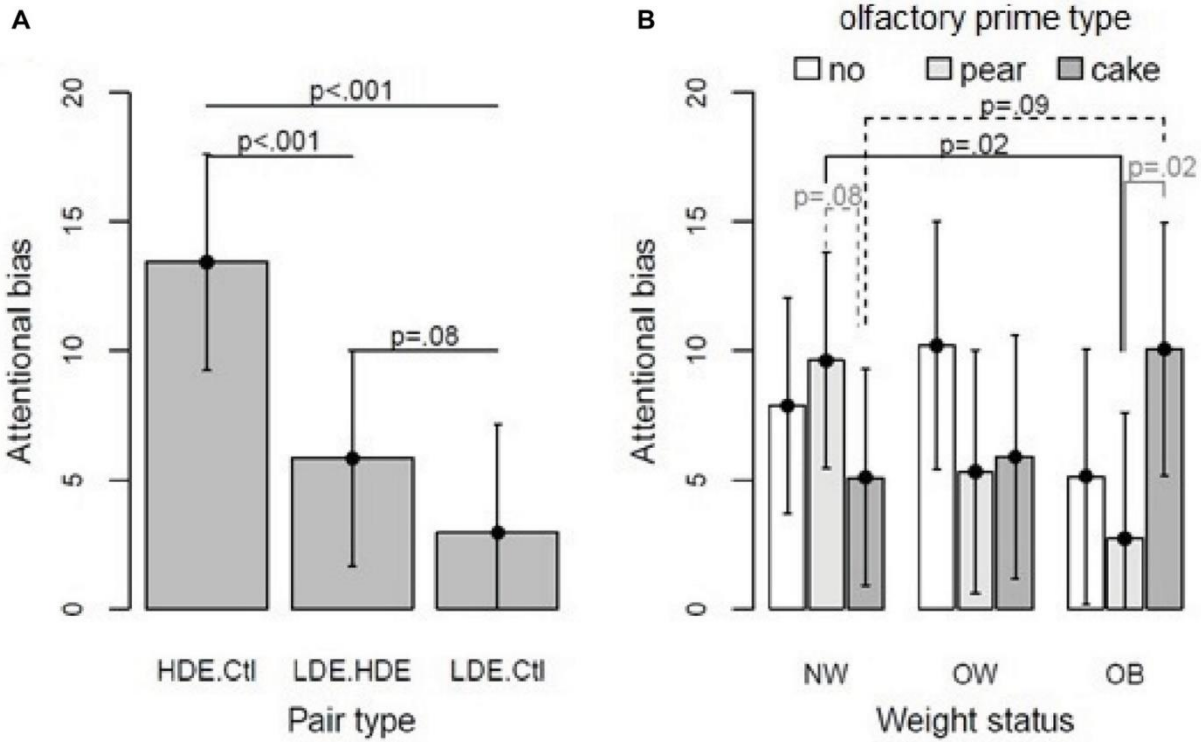


Fig. 5. (A) Predicted attentional biases and 95% confidence intervals in the implicit condition as a function of pair type (over weight status and olfactory prime type). Linear mixed model, pair type effect p <0.001. (B) Predicted attentional biases regarding weight status and olfactory prime type within implicit condition (predictions over the pair type). Linear mixed model, weight status x olfactory prime type, p = 0.02

For the pair type effect, bias scores for HED – CTL were 7.58 ms higher than for HED – LED (p<0.001) and 10.47 ms higher than for LED – CTL (p<0.001) ; bias scores for HED – LED were 2.89 ms higher than for LED – CTL (p=0.08). See details Fig. 5(A).

Explicit mode of exposure

In the explicit condition, only pair type revealed a significant effect (F(2, 648) = 23.0, p<0.001). Attentional biases regarding pair type presented the same pattern as in the implicit condition analysis: bias scores for HED – CTL were 10.81 ms higher than for LED – CTL (p<0.001) and 8.69 ms higher than for HED – LED (p<0.001) but bias scores for HED – LED were only 2.12 ms higher than bias scores for LED – CTL (p=0.20) . In the explicit condition, the interaction of weight status and olfactory prime type was not significant (p = 0.69).

A model gathering implicit and explicit conditions showed no significance regarding the interaction between mode of exposure, weight status and olfactory prime type (p=0.14).

Discussion

The aim of our study was to explore attentional biases toward food stimuli in normal-weight, overweight and obese adults. We investigate the influence of olfactory food cues (odors signaling a high energy dense or a low energy dense food) on such biases, in an implicit and in an explicit mode of exposure.

Pair type effect

In both implicit and explicit conditions, we found a highly significant pair type effect. Attentional biases toward low energy dense foods were significantly lower in all participants than toward high energy foods, regardless of weight status. This finding is consistent with the idea that high energy foods are more appealing because of their rewarding quality (Joyner et al., 2017, Kemps et al., 2016, Kringelbach & Berridge, 2009). Nevertheless, even if they are comparatively less attractive, foods that are less energy dense also create incentive because they are edible and can be seen as providing positive reinforcement.

To our knowledge, this is the first study to assess the initial orienting of attention between two types of food stimuli in adults. Throughout the experiment, the participants' attention was oriented toward pictures of foods, especially energy dense foods. In the HED - LED pair, the participants' attention was oriented toward HED foods. For this pair type, bias score was on average lower than for the HED-CTL pair, which could illustrate an interference effect. Indeed, attention is automatically allocated toward food stimuli. When another food is present, the stimuli may compete for attentional resources more than when food is presented at the same time as a neutral stimulus. This could induce an interference latency in attentional orienting, which would explain the reduced attentional biases in the HED – LED pair-type condition (Posner, 1980).

When two food stimuli are competing to attract attentional resources, the orientation toward HED food is weaker than when it is the only food stimulus in the visual field, possibly reflecting a disturbance in the automatic orientation of attention. In this particular case, we can

hypothesize that attentional orienting is more driven by external than endogeneous elements: "where should I look when there is food everywhere?" Indeed, a human being is more prone to look for food in its environment when resources are unpredictably located in space and time (Ohman, Flykt, & Esteves, 2001).

Manohar (2013) draws a parallel between visual attentional orienting in human beings and animal models of foraging: visual attention is driven by an "engage or search strategy", thus guided toward uncertain elements (search) or toward rewarding elements (engage). According to this theory, one's attention engages in the current location or moves to another subjectively more rewarding location (Manohar & Husain, 2013). In the current experiment, participants oriented their attention toward foods, especially energy dense foods, with an intermediate pattern of bias scores for stimuli pairs in which two food pictures appeared. Because high-energy dense foods are rewarding, they are visually salient (Alonso-Alonso et al., 2015; Cohen, 2008; Mogg et al., 2003). Here, Manohar's theory is applied to the orienting of attention for foods in human adults, as individuals may tend to search for the most rewarding foods (*i.e.* high energy dense, palatable foods) (Alonso-Alonso et al., 2015). The automaticity of this process can be explained by the fact that anticipating a stimulus leads to the devaluation of less rewarding stimuli (Alonso-Alonso et al., 2015; Flaherty, 1982).

In an environment where food is abundant, we can speculate that orienting of attention is focused on high energy dense foods first in order to ensure that these foods are located in space, in order to satisfy a potential physiological need. It can also be supposed that attention is oriented toward the most appropriate choice for the specific motivations of the individual. In sum, we suppose that there is an early prioritization of high energy dense food stimuli sources, which could explain the lack of clear differences in attentional orienting between participants with normal weight, overweight and obesity. Our results on this aspect were not conclusive, but they open the way to future research in this field.

Implicit olfactory priming effects

To our knowledge, this is the first study to assess the effects of olfactory priming on adults with overweight and obesity while comparing implicit and explicit exposure to food odors. Our results indicate that non-attentively perceived food odors influence the cognitive processing of

food stimuli, as previously shown by Marty et al. (2017), Chambaron et al. (2015), and Gaillet et al. (2013); but attentively perceived odors had no effect.

In the implicit condition, the attentional biases of participants with normal-weight and obesity differed in intensity depending on the olfactory prime type. Indeed, attentional biases were significantly higher for participants with obesity when they were primed with a non-attentively perceived pound cake odor (signalling HED foods), than when primed with a non-attentively perceived pear odor (signalling LED foods). These odors may have activated different food-related concepts, in turn leading the participant to orient their attention to food more. Furthermore, this activation seemed to be specific to obese weight status. Normal weight participants showed a reversed tendency: when odors were non-attentively perceived, attentional biases for NW were higher during pear odor priming than pound cake odor priming.

While attentional orienting toward foods of all kinds is driven by non-attentively perceived HED food odors for people with obesity, it is not the case for normal-weight participants. This observation is in line with incentive sensitization theory (Joyner et al., 2017), as OB participants seem to be more affected by HED food olfactory cues than NW participants: an environment abundant in high energy dense foods might modulate the cognitive processing of food cues by making high energy dense foods more salient, thus more likely to be consumed. In line with the literature in the domain of food priming (Chambaron et al., 2015; Cohen, 2008; Gaillet et al., 2013), the differences in reaction patterns to food odors observed between adults with obesity and normal-weight adults could help to explain the origin of energy dense food choices that contribute to obesity.

When primed with a pound cake odor, adults with obesity seemed to be more orienting their attention toward foods, whereas attentional biases were reduced when they were primed with a pear odor. Marty et al. (2017) used the same implicit olfactory priming paradigm to show that exposure to an implicit pear odor led to more LED food choices in children with obesity than in children with normal weight, and found no difference in food choices when the children were primed with a pound cake odor. The differentiated effect of a non-attentively perceived pear odor in obese adults and children, on attentional biases or food choices, respectively, raises several interesting questions: (1) are there different processes activated by the same olfactory prime in children and adults with obesity? And (2) do odors target several processes in different

ways, according to the cognitive processing temporality of the olfactory and visual information underlying food choices? Moreover, we can wonder how mental representations of foods are built and subject to environmental cue alteration through childhood to adulthood. Those are future steps for research in olfactory priming.

The difference in AB following implicit HED or LED food odor priming in individuals with different weight status could be related to the activation of different cognitive representations. Doyen, Klein, Simons, and Cleeremans (2014) suggested that the features common across procedures include (1) experimenters presenting a prime stimulus, (2) the prime activating an internal representation, (3) the activated representation influencing other representations (this distinguishes semantic or associative priming from repetition priming), and (4) activated representations leading to changes in behavior.

Nevertheless, our findings support the hypothesis that the environment has a differentiated effect on cognition in people with normal-weight and those with obesity, but only under certain conditions. Indeed, our results support the idea that attentional biases are influenced by situational characteristics (Garcia-Burgos et al., 2017), which in our case were the olfactory environment.

Lack of significance in explicit priming condition

Research suggests that implicitly stimulating participants is more effective for targeting automatic processes than explicit information (Marteau, Hollands, & Fletcher, 2012). Accordingly, the effects of priming were only visible in implicit priming conditions in the present study. In explicit priming, the processing of olfactory cues may have been hampered by the participants' awareness. We hypothesize that participants might have developed cognitive strategies taking the form of a response bias, which lead to different scores in implicit and explicit conditions. This dichotomy, known as the Hawthorne effect, (McCambridge, Witton, & Elbourne, 2014), is typical when information about the experiment is provided directly rather than indirectly. Indeed, participants who were aware of the olfactory priming in session 2 may have in a certain way guessed at the aim of the experiment, which consequently activated mental representations or goals likely to modify their behavior.

Attentional bias regarding pair type and weight status

The present study is also the first to compare attentional orienting toward food stimuli in people with normal-weight and people with obesity, using three different food-related stimuli pairs. Stimuli were accurately and meticulously paired according to their visual properties (e.g. size and brightness) and consumer-related features (e.g. perceived hedonic value and perceived health value). This pairing process reinforces the relevance of the Food Adapted Visual Probe Task measurement of attentional biases.

Without priming, there was no significant indication in our results that there is a specific orienting of attention toward foods in people with overweight/obesity compared with normal-weight people. This contradicts previous reports wherein individuals with higher BMIs were more prone to focus their attention on foods (Yokum et al., 2011; Nijs, Muris, Euser, & Franken, 2010; Werthmann et al., 2011). On the contrary, our results support other studies showing that weight status has no effect on attentional biases toward foods (Ahern, Field, Yokum, Bohon, & Stice, 2010), or only under certain conditions (Kemps et al., 2016, Castellanos et al., 2009) such as the implicit olfactory environment effect found in our study. Contradictory findings in the literature can be linked to the use of multiple designs within the use of a Visual Probe Task. Hence, one of the main challenges when developing the FA-VPT was to ensure that improving the relevance of the paradigm would not negatively affect the comparability with other studies using visual probe task paradigms in the food domain or the results of our experiment.

Overweight participants

We did find some effects demonstrating differences between normal-weight participants and those with obesity. Concerning participants with overweight, no specific orienting of attention emerged from our data. Future analysis of the psychological assessment questionnaires completed by participants at the end of session 2 might contribute to a clarification of weight-related cognitive profiles. Differences in personality, eating habits and lifestyle may explain, at least in part, the lack of effect in the overweight group.

The present study tried to replicate the effects of food cues on cognition in a laboratory setting, in order to assess attentional biases in adults of various weight statuses. Our results demonstrated that the presence of non-attentively perceived food stimuli has a differentiated

influence on how people with normal-weight and obesity process visual food-related stimuli; however, further research is needed to clarify the development and processing of food-related cognition.

Limitations

Our experimental setting (two stimuli appearing on a computer screen simultaneously) does not reflect real-life situations. One must be careful while interpreting these findings, as context plays a major role in food perception (Boutrolle & Delarue, 2009; de Castro, 2000; Meiselman, 1992).

We only used sweet stimuli (odors and pictures), as sweet foods are more prone to drive cravings, and have specific properties on dopaminergic system, compared to other food types. (Alonso-Alonso et al., 2015). In addition, sweet foods pictures are more commonly liked and induce a stronger desire to eat (Blechert &al, 2014). Sweet odors were chosen in order to stay in line with the protocol used in Marty & al's work. It would have been more difficult to obtain a set of equally liked savory stimuli (odor and pictures) with varying energy densities to study the effect of savory food olfactory primes on attentional biases toward savory food stimuli. Thus, one must then be careful before generalizing those results to other food types.

Furthermore, we only used sweet food stimuli (pictures and odor type), in order to compare the effect of food primes on attentional biases toward foods. Because participants came to the laboratory at lunchtime, when French people typically eat a savory main dish followed by a sweet dessert, such primes might be only partly relevant. Moreover, sweet foods are more likely to trigger cravings and have specific effects on the dopaminergic system (Alonso-Alonso et al., 2015). Therefore, it is difficult to generalize these results to other food types and meal periods.

Due to an experimental constraint inherent to the protocol, the explicit priming condition always took place during session 2. Indeed, planning explicit exposure before implicit exposure can create priming effect between the two sessions and influence the effect of implicit priming. As we needed to assess implicit and explicit priming effects on individuals with potential different sensitivity to these cues, we could not use a between-subject design. A second study with a wider focus on the phenomenon occurring in the explicit condition and the effects of explicit priming of pear and pound cake odor should be conducted. Such work would improve our

understanding of how the explicit mode of exposure affects cognition, and how those odors are cognitively processed to block food-cue priming effects.

In addition, the FA-VPT could not provide precise measure of whether observed attentional biases were the result of speeded detection of food stimuli, or of slowed disengagement of those stimuli. Our results highlighted the attentional saliency of foods influenced by implicitly perceived olfactory cues in individuals with normal-weight, overweight and obesity. Thus, distinguishing those aspects, for instance by adding trials with neutral pictures pairs (Cisler, Bacon, & Williams, 2009; Koster, Crombez, Verschuere, & De Houwer, 2006), or by using eye-tracking (Werthmann, 2011) could provide information on how olfactory cues can influence the cognitive processing of food stimuli.

Finally, reaching an acceptable sample size was challenging because it is difficult to establish specific contact with people with obesity. Even if the INCA3 report states that more than one person out of six is obese in France (Anses - Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail, 2015), we had difficulty including this population in our research even while recruitment information were intentionally non-specific to avoid the interference of stigma (Major, Hunger, Bunyan, & Miller, 2014). In addition, we excluded patients with chronic diseases in order to ensure that sensory capacities of participants were not altered by any pharmaceutical treatment. Unfortunately, chronic conditions such as diabetes and cardiovascular diseases are frequent in the population with obesity (Barnes, 2011).

Conclusion

This study provides new perspectives on the visual processing of food stimuli in individuals with different weight statuses when they are exposed to certain olfactory conditions.

Our first objective was to investigate the differences in attentional orienting for people with normal weight, overweight and obesity. Our experiment confirms strong attentional biases towards foods (especially HED) and adds evidence that weight status has no significant effect on patterns of attentional orienting to foods. This could imply that this process is similar for all individuals, regardless of weight.

Concerning our second objective, we showed the effects of implicit olfactory food priming and its influence on attentional processing of visual food stimuli for the first time in adults with various weight statuses. Our results indicate that implicit priming influences the orientation of attention toward foods, and they support the hypothesis that individuals with obesity have specific cognitive sensitivity to pleasant olfactory food cues. This difference was only found during implicit exposure to food odors, supporting our third hypothesis that non-attentively perceived food cues affect cognition more than attentively perceived food cues.

In addition, automatic processes such as attentional biases are thought to be promising levers to target behavior (Marteau et al., 2012). Studying such biases could lead to a better understanding of the development of maladaptive food choices, and, as shown by Kemps et al. (2016), attentional biases can be trained, potentially guiding people toward healthier food choices. Targeting the cognitive processing of food stimuli could thus be a promising means to encourage healthier behaviors throughout the population.

Further research could lean toward disentangling the link between the cognitive processing of food cues and food choices. We began to study the early mechanisms of cognitive processing, but there are several additional steps between attentional processing of environmental cues and food choices. Measuring other effects of priming on attentional processes and cognitive biases, could contribute to explain why some people adopt unhealthy diets. This work provides perspectives on how the omnipresence of subliminal food cues in our current environment could affect individuals with varying weight statuses differently. While it is difficult to generalize such findings, they open a path toward further research on how food cues from the environment can influence food choices, leading to suboptimal food choices. Improving our knowledge of the cognitive factors involved in obesity will undeniably give us a better understanding of how to prevent people from making unhealthy food choices, and, consequently, improve our ability to promote health through diet.

Acknowledgements

The work in this article was supported by grants from the The French National Research Agency. We would like to thank Jacques Maratray for developing the Food Adapted Visual Probe Task and Suzanne Rankin for checking the use of English. We also thank the Chemosens platform for their help with participants' recruitment.

References

Ahern, A. L., Field, M., Yokum, S., Bohon, C., & Stice, E. (2010). Relation of dietary restraint scores to cognitive biases and reward sensitivity. Appetite, 55(1), 61-68. https://doi.org/10.1016/j.appet.2010.04.001

Alonso-Alonso, M., Woods, S. C., Pelchat, M., Grigson, P. S., Stice, E., Farooqi, S., … Beauchamp, G. K. (2015). Food reward system: current perspectives and future research needs. Nutrition Reviews, 73(5), 296-307. https://doi.org/10.1093/nutrit/nuv002

American Psychiatric Association. (2000). Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders, Fourth Edition: DSM-IV-TR®. American Psychiatric Association.

Barnes, A. S. (2011). The Epidemic of Obesity and Diabetes. Texas Heart Institute Journal, 38(2), 142-144.

Blechert, J., Meule, A., Busch, N. A., & Ohla, K. (2014). Food-pics: an image database for experimental research on eating and appetite. Frontiers in Psychology, 5. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2014.00617

Boutrolle, I., & Delarue, J. (2009). 8 - Studying meals in the home and in the laboratory. In H. L. Meiselman (Éd.), Meals in Science and Practice (p. 128-165). Woodhead Publishing. https://doi.org/10.1533/9781845695712.3.128

Callahan, S., Rousseau, A., Knotter, A., Bru, V., Danel, M., Cueto, C., … Chabrol, H. (2012). Diagnosing eating disorders : presentation of a new diagnostic test and an initial epidemiological study of eating disorders in adolescents.

Castellanos, E. H., Charboneau, E., Dietrich, M. S., Park, S., Bradley, B. P., Mogg, K., & Cowan, R. L. (2009). Obese adults have visual attention bias for food cue images: evidence for altered reward system function. International Journal of Obesity (2005), 33(9), 1063-1073. https://doi.org/10.1038/ijo.2009.138

Chambaron, S., Chisin, Q., Chabanet, C., Issanchou, S., & Brand, G. (2015). Impact of olfactory and auditory priming on the attraction to foods with high energy density. Appetite, 95, 74-80. https://doi.org/10.1016/j.appet.2015.06.012

Chun, M. M., Golomb, J. D., & Turk-Browne, N. B. (2011). A Taxonomy of External and Internal Attention. Annual Review of Psychology, 62(1), 73-101. https://doi.org/10.1146/annurev.psych.093008.100427

Cisler, J. M., Bacon, A. K., & Williams, N. L. (2009). Phenomenological Characteristics of Attentional Biases Towards Threat: A Critical Review. *Cognitive therapy and research*, *33*(2), 221-234. https://doi.org/10.1007/s10608-007-9161-y

Cohen, D. A. (2008). Neurophysiological pathways to obesity: below awareness and beyond individual control. Diabetes, 57(7), 1768-1773. https://doi.org/10.2337/db08-0163

de Castro, J. M. (2000). Eating behavior: lessons from the real world of humans. Nutrition (Burbank, Los Angeles County, Calif.), 16(10), 800-813.

Flaherty, C. F. (1982). Incentive contrast: A review of behavioral changes following shifts in reward. Animal Learning & Behavior, 10(4), 409-440. https://doi.org/10.3758/BF03212282

Forestell, C. A., Lau, P., Gyurovski, I. I., Dickter, C. L., & Haque, S. S. (2012). Attentional biases to foods: The effects of caloric content and cognitive restraint. Appetite, 59(3), 748-754. https://doi.org/10.1016/j.appet.2012.07.006

Friis, R., Skov, L. R., Olsen, A., Appleton, K. M., Saulais, L., Dinnella, C., … Perez-Cueto, F. J. A. (2017). Comparison of three nudge interventions (priming, default option, and perceived variety) to promote vegetable consumption in a self-service buffet setting. PLoS ONE, 12(5). https://doi.org/10.1371/journal.pone.0176028

Gaillet, M., Sulmont-Rossé, C., Issanchou, S., Chabanet, C., & Chambaron, S. (2013). Priming effects of an olfactory food cue on subsequent food-related behaviour. Food Quality and Preference, 30(2), 274-281. https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2013.06.008

Garcia-Burgos, D., Lao, J., Munsch, S., & Caldara, R. (2017). Visual attention to food cues is differentially modulated by gustatory-hedonic and post-ingestive attributes. Food Research International (Ottawa, Ont.), 97, 199-208. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.04.011

Glanz, K., Sallis, J. F., Saelens, B. E., & Frank, L. D. (2005). Healthy Nutrition Environments: Concepts and Measures. American Journal of Health Promotion, 19(5), 330-333. https://doi.org/10.4278/0890-1171-19.5.330

Hendrikse, J. J., Cachia, R. L., Kothe, E. J., McPhie, S., Skouteris, H., & Hayden, M. J. (2015). Attentional biases for food cues in overweight and individuals with obesity: a systematic review of the literature. Obesity Reviews, 16(5), 424-432. https://doi.org/10.1111/obr.12265

Hess, T. M., Hinson, J. T., & Statham, J. A. (2004). Explicit and implicit stereotype activation effects on memory: do age and awareness moderate the impact of priming? Psychology and Aging, 19(3), 495-505. https://doi.org/10.1037/0882-7974.19.3.495

Hill, J. O., Peters, J. C., Catenacci, V. A., & Wyatt, H. R. (2008). International strategies to address obesity. Obesity Reviews: An Official Journal of the International Association for the Study of Obesity, 9 Suppl 1, 41-47. https://doi.org/10.1111/j.1467-789X.2007.00437.x

Holland, R. W., Hendriks, M., & Aarts, H. (2005). Smells like clean spirit. Nonconscious effects of scent on cognition and behavior. Psychological Science, 16(9), 689-693. https://doi.org/10.1111/j.1467-9280.2005.01597.x

Hopkins, M., Blundell, J., Halford, J., King, N., & Finlayson, G. (2000). The Regulation of Food Intake in Humans. In L. J. De Groot, G. Chrousos, K. Dungan, K. R. Feingold, A. Grossman, J. M. Hershman, … A. Vinik (Éd.), Endotext. South Dartmouth (MA): MDText.com, Inc. Consulté à l'adresse http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK278931/

Hou, R., Mogg, K., Bradley, B. P., Moss-Morris, R., Peveler, R., & Roefs, A. (2011). External eating, impulsivity and attentional bias to food cues. Appetite, 56(2), 424-427. https://doi.org/10.1016/j.appet.2011.01.019

Iacoviello, B. M., Wu, G., Abend, R., Murrough, J. W., Feder, A., Fruchter, E., … Charney, D. S. (2014). Attention Bias Variability and Symptoms of Posttraumatic Stress Disorder. Journal of Traumatic Stress, 27(2), 232-239. https://doi.org/10.1002/jts.21899

INCA 3 : Evolution des habitudes et modes de consommation, de nouveaux enjeux en matière de sécurité sanitaire et de nutrition | Anses - Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail. (s. d.). Consulté 14 octobre 2018, à l'adresse

https://www.anses.fr/fr/content/inca-3-evolution-des-habitudes-et-modes-de-consommation-de-nouveaux-enjeux-en-mati%C3%A8re-de

Jacquier, C., Bonthoux, F., Baciu, M., & Ruffieux, B. (2012). Improving the effectiveness of nutritional information policies: assessment of unconscious pleasure mechanisms involved in food-choice decisions. Nutrition Reviews, 70(2), 118-131. https://doi.org/10.1111/j.1753-4887.2011.00447.x

Joyner, M. A., Kim, S., & Gearhardt, A. N. (2017). Investigating an Incentive-Sensitization Model of Eating Behavior: Impact of a Simulated Fast-Food Laboratory. Clinical Psychological Science, 5(6), 1014-1026. https://doi.org/10.1177/2167702617718828

Kemps, E., Tiggemann, M., & Hollitt, S. (2016). Longevity of attentional bias modification effects for food cues in overweight and obese individuals. Psychology & Health, 31(1), 115-129. https://doi.org/10.1080/08870446.2015.1077251

Kluger, A. N., & DeNisi, A. (1996). The effects of feedback interventions on performance: A historical review, a meta-analysis, and a preliminary feedback intervention theory. *Psychological Bulletin, 119*(2), 254-284. https://doi.org/10.1037/0033-2909.119.2.254
Knai, C., Lobstein, T., Petticrew, M., Rutter, H., & Savona, N. (2018). England's childhood obesity action plan II. BMJ, 362, k3098. https://doi.org/10.1136/bmj.k3098

Komaroff, M. (2016). For Researchers on Obesity: Historical Review of Extra Body Weight Definitions [Research article]. https://doi.org/10.1155/2016/2460285

Koster, E. H. W., Crombez, G., Verschuere, B., & De Houwer, J. (2006). Attention to Threat in Anxiety-prone Individuals: Mechanisms Underlying Attentional Bias. *Cognitive Therapy and Research*, *30*(5), 635-643. https://doi.org/10.1007/s10608-006-9042-9

Kringelbach, M. L., & Berridge, K. C. (2009). Pleasures of the Brain. Oxford, New York: Oxford University Press.

MacLeod, C., Mathews, A., & Tata, P. (1986). Attentional bias in emotional disorders. Journal of Abnormal Psychology, 95(1), 15-20.

Major, B., Hunger, J. M., Bunyan, D. P., & Miller, C. T. (2014). The ironic effects of weight stigma. Journal of Experimental Social Psychology, 51, 74-80. https://doi.org/10.1016/j.jesp.2013.11.009

Manohar, S. G., & Husain, M. (2013). Attention as foraging for information and value. Frontiers in Human Neuroscience, 7, 711. https://doi.org/10.3389/fnhum.2013.00711

Marteau, T. M., Hollands, G. J., & Fletcher, P. C. (2012). Changing human behavior to prevent disease: the importance of targeting automatic processes. Science (New York, N.Y.), 337(6101), 1492-1495. https://doi.org/10.1126/science.1226918

Marty, L., Bentivegna, H., Nicklaus, S., Monnery-Patris, S., & Chambaron, S. (2017). Non-Conscious Effect of Food Odors on Children's Food Choices Varies by Weight Status. Frontiers in Nutrition, 4, 16. https://doi.org/10.3389/fnut.2017.00016

Mas, M., Chabanet, C., Brindisi, M.-C., & Chambaron, S. (in prep.). The Food-Adapted Visual Probe Task (FA-VPT), an alternative to eye-tracking in measurement of attentional orienting toward food stimuli.

McCambridge, J., Witton, J., & Elbourne, D. R. (2014). Systematic review of the Hawthorne effect: New concepts are needed to study research participation effects. Journal of Clinical Epidemiology, 67(3), 267-277. https://doi.org/10.1016/j.jclinepi.2013.08.015

Meiselman, H. L. (1992). Methodology and theory in human eating research. Appetite, 19(1), 49-55.

Mintz, L. B., O'Halloran, M. S., Mulholland, A. M., & Schneider, P. A. (1997). Questionnaire for Eating Disorder Diagnoses: Reliability and validity of operationalizing DSM—IV criteria into a self-report format. Journal of Counseling Psychology, 44(1), 63-79. https://doi.org/10.1037/0022-0167.44.1.63

Mogg, K., Bradley, B. P., Field, M., & De Houwer, J. (2003). Eye movements to smoking-related pictures in smokers: relationship between attentional biases and implicit and explicit measures of stimulus valence. Addiction (Abingdon, England), 98(6), 825-836.

Mogg, K., Bradley, B. P., Hyare, H., & Lee, S. (1998). Selective attention to food-related stimuli in hunger: are attentional biases specific to emotional and psychopathological states, or are they also found in normal drive states? Behaviour Research and Therapy, 36(2), 227-237.

Mozaffarian, D., Angell, S. Y., Lang, T., & Rivera, J. A. (2018). Role of government policy in nutrition—barriers to and opportunities for healthier eating. BMJ, 361, k2426. https://doi.org/10.1136/bmj.k2426

Munneke, J., Belopolsky, A. V., & Theeuwes, J. (2016). Distractors associated with reward break through the focus of attention. Attention, Perception & Psychophysics, 78(7), 2213-2225. https://doi.org/10.3758/s13414-016-1075-x

National Clinical Guideline Centre (UK). (2014). Obesity: Identification, Assessment and Management of Overweight and Obesity in Children, Young People and Adults: Partial Update of CG43. London: National Institute for Health and Care Excellence (UK). Consulté à l'adresse http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK264165/

Nijs, I. M. T., Muris, P., Euser, A. S., & Franken, I. H. A. (2010). Differences in attention to food and food intake between overweight/obese and normal-weight females under conditions of hunger and satiety. Appetite, 54(2), 243-254. https://doi.org/10.1016/j.appet.2009.11.004

Nuttall, F. Q. (2015). Body Mass Index. Nutrition Today, 50(3), 117-128. https://doi.org/10.1097/NT.0000000000000092

Ohman, A., Flykt, A., & Esteves, F. (2001). Emotion drives attention: detecting the snake in the grass. Journal of Experimental Psychology. General, 130(3), 466-478.

Paquet, C., de Montigny, L., Labban, A., Buckeridge, D., Ma, Y., Arora, N., & Dubé, L. (2017). The moderating role of food cue sensitivity in the behavioral response of children to their neighborhood food environment: a cross-sectional study. International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity, 14(1), 86. https://doi.org/10.1186/s12966-017-0540-9

Petrova, K., Wentura, D., & Bermeitinger, C. (2013). What Happens during the Stimulus Onset Asynchrony in the Dot-Probe Task? Exploring the Role of Eye Movements in the Assessment of Attentional Biases. PLOS ONE, 8(10), e76335. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0076335

Posner, M. I. (1980). Orienting of attention. Quarterly Journal of Experimental Psychology, 32(1), 3-25. https://doi.org/10.1080/00335558008248231

Posner, M. I. (2016). ORIENTING OF ATTENTION: THEN AND NOW. Quarterly journal of experimental psychology (2006), 69(10), 1864-1875. https://doi.org/10.1080/17470218.2014.937446

Price, M., Lee, M., & Higgs, S. (2016). Food-specific response inhibition, dietary restraint and snack intake in lean and overweight/obese adults: a moderated-mediation model. International Journal of Obesity (2005), 40(5), 877-882. https://doi.org/10.1038/ijo.2015.235

Price, R. B., Kuckertz, J. M., Siegle, G. J., Ladouceur, C. D., Silk, J. S., Ryan, N. D., … Amir, N. (2015). Empirical Recommendations for Improving the Stability of the Dot-Probe Task in Clinical Research. Psychological assessment, 27(2), 365-376. https://doi.org/10.1037/pas0000036

Programme National Nutrition Santé. (2004). Les objectifs de santé publique | Manger Bouger. Consulté 21 décembre 2018, à l'adresse http://www.mangerbouger.fr/PNNS/Le-PNNS/Les-objectifs-de-sante-publique

Rabia, M., Knäuper, B., & Miquelon, P. (2006). The eternal quest for optimal balance between maximizing pleasure and minimizing harm: the compensatory health beliefs model. British Journal of Health Psychology, 11(Pt 1), 139-153. https://doi.org/10.1348/135910705X52237

Shank, L. M., Tanofsky-Kraff, M., Nelson, E. E., Shomaker, L. B., Ranzenhofer, L. M., Hannallah, L. M., … Yanovski, J. A. (2015). Attentional Bias to Food Cues in Youth with Loss of Control Eating. Appetite, 87, 68-75. https://doi.org/10.1016/j.appet.2014.11.027

Smeets, M. A. M., & Dijksterhuis, G. B. (2014). Smelly primes – when olfactory primes do or do not work. Frontiers in Psychology, 5. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2014.00096

Sulmont-Rossé, C., Gaillet, M., Raclot, C., Duclos, M., Servelle, M., & Chambaron, S. (2018). Impact of Olfactory Priming on Food Intake in an Alzheimer's Disease Unit. Journal of Alzheimer's Disease, 66(4), 1497-1506. https://doi.org/10.3233/JAD-180465

Swinburn, B. A., Sacks, G., Hall, K. D., McPherson, K., Finegood, D. T., Moodie, M. L., & Gortmaker, S. L. (2011). The global obesity pandemic: shaped by global drivers and local environments. The Lancet, 378(9793), 804-814. https://doi.org/10.1016/S0140-6736(11)60813-1

Thaler, R. H., & Sunstein, C. R. (2009). Nudge: Improving Decisions About Health, Wealth, and Happiness (Revised & Expanded edition). New York: Penguin Books.

Thomas-Danguin, T., Rouby, C., Sicard, G., Vigouroux, M., Farget, V., Johanson, A., … Dumont, J.-P. (2003). Development of the ETOC: a European test of olfactory capabilities. Rhinology, 41(3), 142-151.

Townshend, T., & Lake, A. (2017). Obesogenic environments: current evidence of the built and food environments. Perspectives in Public Health, 137(1), 38-44. https://doi.org/10.1177/1757913916679860

Wakefield, J. (2004). Fighting Obesity Through the Built Environment. Environmental Health Perspectives, 112(11), A616-A618.

Werthmann, J., Jansen, A., Vreugdenhil, A. C. E., Nederkoorn, C., Schyns, G., & Roefs, A. (2015). Food through the child's eye: An eye-tracking study on attentional bias for food in healthy-weight children and children with obesity. Health Psychology, 34(12), 1123-1132. https://doi.org/10.1037/hea0000225

Werthmann, J., Roefs, A., Nederkoorn, C., Mogg, K., Bradley, B. P., & Jansen, A. (2011). Can(not) take my eyes off it: attention bias for food in overweight participants. Health Psychology: Official Journal of the Division of Health Psychology, American Psychological Association, 30(5), 561-569. https://doi.org/10.1037/a0024291

WHO | Obesity and overweight. (2017, novembre 21). Consulté 21 novembre 2017, à l'adresse http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs311/en/

WHO/Europe approaches to obesity. (2017, novembre 21). Consulté 21 novembre 2017, à l'adresse http://www.euro.who.int/en/health-topics/noncommunicable-diseases/obesity/obesity

Yokum, S., Ng, J., & Stice, E. (2011). Attentional Bias to Food Images Associated With Elevated Weight and Future Weight Gain: An fMRI Study. Obesity (Silver Spring, Md.), 19(9), 1775-1783. https://doi.org/10.1038/oby.2011.168

II – 3. Points clés et conclusions

II – 3. 1. Objectif 1 : Caractériser les biais attentionnels envers l'alimentation des individus de statut pondéral différent

Tous les individus présentaient un biais attentionnel envers les aliments, quel que soit leur statut pondéral : leur attention était automatiquement attirée vers les aliments. Les aliments sont donc bien des stimuli attentionnellement saillants.

Lors de la présentation simultanée d'une image d'aliment à faible densité énergétique et d'une image d'aliment à haute densité énergétique, les aliments à haute densité énergétique étaient plus saillants que les aliments à faible densité énergétique, et ce, pour tous les individus.

II – 3. 2. Objectif 2 : Observer les effets d'amorces olfactives sur les biais attentionnels envers les aliments d'individus normo-pondéraux, en surpoids et en obésité.

Les biais attentionnels des participants en obésité étaient plus élevés lorsqu'ils étaient amorcés de façon implicite avec une odeur de quatre-quarts qu'avec une odeur de poire. Pour les participants normo-pondéraux, les biais attentionnels tendaient à être plus élevés lorsqu'ils étaient amorcés avec une odeur de poire qu'avec une odeur de quatre quarts. L'effet des amorces présentées de façon non-attentive était différent en fonction du type d'odeur.

De plus, pour les individus normo-pondéraux, les biais attentionnels étaient plus élevés que les participants en obésité lorsqu'amorcés avec une odeur de poire, et tendaient à être plus faibles que les participants en obésité lorsqu'amorcés avec une odeur de quatre-quarts. L'effet des amorces présentées de façon non-attentive était différent en fonction du statut pondéral.

II – 3. 3. Objectif 3 : Comparer les effets d'un amorçage olfactif implicite et explicite sur les biais attentionnels.

Conformément à nos hypothèses, l'amorçage implicite a eu un effet sur tous les participants, tandis que l'amorçage explicite n'a pas permis de mettre en avant un effet des odeurs sur les

participants. Il est ainsi possible qu'informer les participants de la présence d'une odeur (amorçage explicite) impacte l'effet d'amorçage.

II – 3. 4. Conclusions

L'exposition non-attentive à des odeurs signalant des aliments gras-sucrés a eu un effet sur l'orientation attentionnelle des individus en obésité, ce qui nous permet de supposer qu'il existerait une vulnérabilité cognitive chez ces individus. L'effet d'amorçage a été observé uniquement lors d'un amorçage implicite, et non lors d'un amorçage explicite, ce qui laisse penser que l'amorçage implicite a un effet plus fort sur la cognition des individus que l'amorçage explicite.

CHAPITRE III – Effets d'amorçage implicite sur la réactivité et le contrôle inhibiteur face aux aliments.

Le chapitre précédent a permis de mettre en avant que les aliments étaient des stimuli particuliers pour tous les individus. De plus, l'amorçage implicite d'odeurs alimentaires avait un effet sur l'orientation attentionnelle des participants qui était différent en fonction de leur statut pondéral. Les biais attentionnels précédemment étudiés étaient un processus ascendant *(i.e.,* bottom-up) : les stimuli de l'environnement ont agi sur la cognition de l'individu. Il est donc intéressant de tenter de mesurer les effets d'un amorçage implicite sur des processus descendants (ou top-down), c'est-à-dire des processus dans lesquels la cognition de l'individu va guider les processus cognitifs.

Comme nous l'avons vu dans l'introduction, le contrôle inhibiteur est un processus qui permet aux individus de réguler leur comportement en inhibant les représentations ou comportements qui ne seraient pas pertinents à un moment donné du traitement de l'information. Afin de mieux comprendre comment ce processus se manifeste face aux aliments de façon descendante (top-down), ce chapitre concerne l'étude du contrôle inhibiteur face aux aliments chez des individus normo-pondéraux, en surpoids et en obésité dans une situation d'amorçage olfactif implicite.

Ce chapitre est constitué de la publication suivante :

Mas, M., Brindisi, M.-C., Chabanet, C., & Chambaron, S. (2020). Implicit food odour priming effects on reactivity and inhibitory control towards foods. PLOS ONE, 15(6), e0228830. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0228830

III – 1. Introduction

L'étude mentionnée dans ce chapitre comportait deux objectifs majeurs :

1. Caractériser le contrôle inhibiteur des individus face aux stimuli alimentaires à haute et faible densité énergétique.

2. Observer les effets d'un amorçage olfactif sur le contrôle inhibiteur face aux aliments chez des individus normo-pondéraux, en surpoids et en obésité.

CHAPITRE III – Effets d'amorçage implicite sur la réactivité et le contrôle inhibiteur face aux aliments.

III – 1.1. Objectif 1 : Caractériser le contrôle inhibiteur des individus face aux stimuli alimentaires à haute et faible densité énergétique.

Des études montrent que les individus en obésité ont de moins bonnes capacités d'inhibition face aux aliments que les individus normo-pondéraux (Boeka & Lokken, 2008; Cserjési et al., 2009; Fagundo et al., 2012; Houben et al., 2014), de façon congruente à ce que postulent les modèles cognitifs de l'obésité (Appelhans, 2009; Volkow et al., 2008, 2011). Notre étude s'est ainsi attachée à observer ces déficits face à deux types d'aliments : les aliments à haute densité énergétique et les aliments à faible densité énergétique.

Développement méthodologique : la modified Affective Shifting Task

Afin de mesurer le contrôle inhibiteur face aux aliments, nous avons adapté l'Affective Shifting Task (Dias et al., 1996; Mobbs et al., 2011; Murphy et al., 1999) à l'alimentation. Cette tâche est basée sur le paradigme de Go/no-Go (Gomez et al., 2007; Meule & Kübler, 2014) : deux types de stimuli sont présentés de façon successive à l'écran, la consigne pour les participants est de détecter les stimuli qui correspondent à un type, tout en ignorant les autres, et ce dans un temps limité, ce qui les amène inévitablement à faire des erreurs. Ce type de tâche mesure le contrôle inhibiteur en comptabilisant le nombre de détections erronées (erreurs de commission) faites par le participant : plus le nombre d'erreurs est élevé, moins le participant a un contrôle inhibiteur efficace. Cette tâche mesure également la réactivité face aux aliments via les temps de réaction (TR), ainsi que le manque d'attention portée au stimulus lorsque le participant ne détecte pas un stimulus qu'il aurait dû détecter (erreurs d'omissions).

L'apport de l'Affective Shifting Task au paradigme de Go/no-Go est que la consigne va s'inverser au fur et à mesure de la tâche, notamment afin d'empêcher les mécanismes d'apprentissage. Ce changement de consigne correspond à une charge cognitive plus élevée pour l'individu car il va devoir désapprendre la consigne des essais précédents et se ré-habituer à éxécuter une nouvelle consigne.

Afin d'obtenir un nombre égal de stimuli à haute et faible densité énergétique qui soient de saillances équivalentes mais de densité énergétique contrastée, nous avons réutilisé les paires d'images HDE-FDE présentées dans le **chapitre II**. Nous avons également réalisé des paires

d'images d'objets (stimuli neutres) en utilisant le même procédé d'appariement basé sur les propriétés psychophysiques des aliments, ce qui nous a permis d'avoir un contrôle strict et rigoureux des stimuli visuels de notre tâche.

Les principales modifications apportées à la tâche initialement utilisée par Mobbs et al. sont les suivantes :

- Utilisation d'images d'aliments à haute et faible densité énergétique ainsi que des images d'objets (matériel non-verbal).

- Appariement des stimuli rigoureusement contrôlé. A ces fins, les paires d'images HDE-LDE mentionnées dans le **chapitre II** ont été ré-utilisées afin d'avoir des images d'aliments à haute densité énergétique et des images d'aliments à faible densité énergétique différenciées uniquement par la valeur santé et la valeur calorique perçue des aliments représentés. Les images d'objets issues de l'appariement présenté en **chapitre II** ont également été ré-utilisées afin d'avoir des stimuli neutres qui étaient contrôlés en termes de propriétés psychophysiques.

- Croix de fixation constante entre l'apparition des images afin que le participant reste bien concentré sur le centre de l'écran.

- Comparaison du contrôle cognitif face à trois types de stimuli : (Fig. 1 de l'article présenté ci-après)

    - Aliments à haute densité énergétique

    - Aliments à faible densité énergétique

    - Objets (stimuli neutres)

- Mesure de la charge cognitive : comparaison entre les essais après un changement de consigne (mobilisant plus de ressources cognitives) et les essais avant changement de consigne (mobilisant moins de ressources cognitives car la consigne est plus automatisée).

III – 1. 2. Objectif 2 : Observer les effets d'un amorçage olfactif sur le contrôle inhibiteur face aux aliments chez des individus normo-pondéraux, en surpoids et en obésité.

Comme nous l'avons vu dans le chapitre précédent, un amorçage olfactif implicite a plus d'effets sur le traitement cognitif des individus qu'un amorçage explicite. L'amorçage olfactif implicite est utilisé ici en tant que contexte de facilitation d'un déficit de contrôle inhibiteur, conformément aux modèle s'appuyant sur la sensibilisation incitative (Appelhans, 2009; Joyner et al., 2017; Volkow et al., 2008, 2011). Le deuxième objectif de cette étude est ainsi d'observer des différences de contrôle inhibiteur liées au statut pondéral et à l'exposition à des amorces olfactives non-attentivement perçues.

III – 2. Article: Implicit food odour priming effects on reactivity and inhibitory control towards foods

Marine Mas[1*], Marie-Claude Brindisi[1, 2], Claire Chabanet[1], Stéphanie Chambaron[1]

[1] Centre des Sciences du Goût et de l'Alimentation, AgroSup Dijon, CNRS, INRAE, Université Bourgogne Franche-Comté, Dijon, France

[2] Department of Diabetes and Clinical Nutrition, Centre Hospitalier Universitaire de Dijon, Dijon, France

Abstract

The food environment can interact with cognitive processing and influence eating behaviour. Our objective was to characterize the impact of implicit olfactory priming on inhibitory control towards food, in groups with different weight status. Ninety-two adults completed a modified Affective Shifting Task: they had to detect target stimuli and ignore distractor stimuli while being primed with non-attentively perceived odours. We measured reactivity and inhibitory control towards food pictures. Priming effects were observed on reactivity: participants with overweight and obesity were slower when primed with pear and pound cake odour respectively. Common inhibitory control patterns toward foods were observed between groups. We suggest that non-attentively perceived food cues influence bottom-up processing by activating distinguished mental representations according to weight status. Also, our data show that cognitive load influences inhibitory control toward foods. Those results contribute to understanding how the environment can influence eating behaviour in individuals with obesity.

Introduction

Studies have shown that individuals with obesity tend to have poorer inhibition capacities when it comes to food [1,2]. In our food-abundant environment, this tendency inevitably leads to overeating, *i.e.* eating more than one's physiological needs. This type of impaired inhibition can naturally lead to weight gain and even to obesity.

The combination of excess calorie intake and a lack of caloric expenditure results in weight excess, overweight, and often obesity. This phenomenon is related to our environment: for most people in modern-day society, food is abundant and easily accessible. Moreover, daily exercise is now a choice rather than an obligation. Scientists have therefore introduced the idea of the

"obesogenic" environment, inferring that the influence of the environment is a key feature of the current obesity epidemic. According to Swinburn et al., "the physiology of energy balance is proximally determined by behaviours and distally by environments" [3]. However, it is still difficult to explain how, why, and under which conditions the obesogenic environment can influence food choices on an information-processing level. Indeed, obesity has a multifactorial aetiology, and researchers have highlighted genetic, metabolic, social, psychological, cognitive, and environmental factors that contribute to the maintenance and development of obesity [3–6].

Independently of their surroundings, people are, by nature, attracted to food [7]. Indeed, foraging for nutritious food is one of the key roles of the brain functions as food is essential for survival [8]. The brain preferentially directs its limited resources toward energy-dense food stimuli [8,9]. Food also induces reward in the form of pleasure in the dopaminergic pathways of the brain, which is similar to the cognitive processing of addictive substance cues [10,11]. Those two aspects provide a solid base to establish that food stimuli are salient in the environment [12]: they are more prone to visually attract attention, and consequently, undergo quickly cognitive processing, which affects decision-making. [13]. In an obesogenic environment, biased decision-making in favour of high energy-dense food choices inevitably leads to weight gain.

To study the modulation of behaviour by food cues, several studies focused on using priming [14,15]. Priming is how incidental stimuli (stimuli that are perceived without the individual's awareness or appreciation of their influence) are shown to influence higher-order cognitive and behavioural outcomes [16]. Incidental stimuli that alter human food behaviour can be visual (advertisements, [15]), auditive [17], but also olfactive. Indeed, olfaction is strongly tied to food intake as food odours generally signal food availability [18]. Several studies have shown that food odour priming might modify several aspects of eating behaviour, such as attitudes to foods [19], food choices [20], food intake [21,22], and bottom-up cognitive processing of food stimuli [23].

In a previous study, we highlighted the differing influence of incidental olfactory food cues on the stimulus-driven cognitive processing of food pictures in individuals with different weight statuses [23]. Such processes are referred to as "bottom-up" or stimulus-driven processes,

meaning that data from the environment drive our perception of stimuli. Indeed, when primed with non-attentively perceived odours signalling high energy-dense (HED) foods, participants with obesity tended to show greater orienting attentional biases (*i.e. the individual tendency to automatically orient one's attention toward specific stimuli*) toward food pictures than when primed with non-attentively perceived odours signalling low energy-dense (LED) foods. This tendency was reversed for individuals with normal weight status, and different from the pattern of attentional orienting toward foods in individuals with overweight. In sum, implicit olfactory priming with food odours can either increase or decrease the perceptual salience (*i.e.* the extent to which a stimulus is salient) of foods in different ways according to weight status by influencing the bottom-up processing of such stimuli. We consequently wondered whether olfactory priming with food cues could also have differentiated effects on goal-directed or "top-down" processes such as inhibitory control. This contribution would help us to clarify the links between the processing of food cues and food-related decision-making.

Inhibitory control is part of the executive functions, which are cognitive functions responsible for transmission between endogenous (mood, thoughts, sensations) and exogenous (environmental) events. Executive functions are involved in problem-solving and decision-making, which are necessary for the execution of goal-directed actions [24–26]. Inhibitory control is a remarkable executive function that makes it possible for us to stay consistent with our behavioural intentions on attentional, cognitive and behavioural levels. Many researchers have conceptualized several theoretical models of its structure [27,28]. According to Friedman and Miyake (2004), there are three defined components of inhibitory control: (a) attentional control, allowing us to focus our attention on stimuli of interest and to avoid wasting mental resources on non-pertinent stimuli, (b) cognitive inhibition, namely the ability to resist proactive interference from prepotent stimuli in information processing, and (c) self-control, the ability to control one's behaviour instead of acting impulsively [27]. Each of these three components is involved in a specific type of stimulus processing, which helps individuals to adapt to changing situations by enabling voluntary behaviours and inhibiting possible perturbations.

The hypothesis of a deficit in inhibitory control among individuals with obesity has been widely explored by researchers in an effort to explain why weight loss remains difficult, and to find innovative opportunities to reduce obesity [10]. Such a deficit could lead to a decrease in the

ability to pursue goal-directed behaviour, such as maintaining a healthy lifestyle. In this line of study, some authors showed that individuals with obesity have lower inhibitory control, [2,25,29,30] while other studies found no differences related to weight status [31,32]. No consensus has been found so far, potentially due to the diversity of methodologies [33]. Additionally, other variables (such as frequent comorbidities in obesity, or specific eating styles) are susceptible to modulate inhibitory control capacities beyond weight status [32,34–36]. Applied to food-choice behaviour, low inhibitory control is related to excessive consumption of HED foods, especially in contexts of consumption facilitation [37,38]. Moreover, in an obesogenic context where there is an overload of information, few cognitive resources remain available to inhibit one's attention, thoughts and behaviours. This may guide individuals toward default choices, namely palatable but unhealthy foods [7].

Some sensory cues create a context of facilitation by guiding the individual toward consumption [39] while offering opportunities to succumb to the temptation of palatable foods. Among these cues, food odours have a strong influence; they signal the availability of foods without necessarily raising awareness [40,41]. To our knowledge, our study is the first to explore the relationship between a context of facilitation and inhibitory control toward foods (high and low energy-dense foods *vs.* neutral non-food stimuli) in male and female adults of various weight statuses (normal-weight, overweight, obese) and with no eating disorder. New data on how food stimuli modulate cognitive processing might help to understand how individuals are influenced by our obesogenic environment. Moreover, the lack of inhibitory control toward foods is one problematic aspect of eating behaviour. Disentangling its mechanisms could explain some health-deleterious food choices in obesity.

The first aim of this study was to characterize inhibitory control toward food pictures in individuals with normal-weight, overweight and obesity. Our second aim was to study how olfactory priming affected top-down processes in individuals with various weight statuses, by measuring their inhibitory control capacities when non-attentively exposed to olfactory food cues compared to non-exposed. Our main hypothesis was that, compared with neutral stimuli (objects), individuals facing food stimuli would have decreased inhibitory control, especially when the food stimuli were HED. We expected that this deficit would be increased in individuals with higher weight status, especially when non-attentively primed with olfactory food cues.

Material and methods

Participants

One hundred and twenty-four adults aged from 20 to 60 years old were recruited and grouped according to their body mass index (BMI, kg/m², [42,43]; 38 individuals with obesity (OB), 45 individuals with overweight (OW), and 41 individuals with normal weight (NW). Participants were recruited from the population registered in the Chemosens Platform's PanelSens database. This database complies with national data protection rules and has been vetted by the appropriate authorities (Commission Nationale Informatique et Libertés – CNIL). Participants were contacted by an e-mail from the platform which invited them to respond to a questionnaire investigating inclusion and exclusion criteria mentioned below. The study was conducted in accordance with the Declaration of Helsinki and was approved by the Comité d'Evaluation Ethique de l'Inserm (CEEI, File number IRB 0000388817-417). This research study adhered to all applicable institutional and governmental regulations concerning the ethical use of human volunteers.

Exclusion criteria were: age under 18 or over 60 years old, diagnosis of a chronic disease (such as type 2 diabetes, cardiovascular disease, or hypertension), regular medical treatment causing cognitive impairment (antipsychotic, anxiolytic, or antidepressant), olfactory impairment (anosmia, hyposmia, chronic sinusitis) and a history of bariatric surgery. Additionally, participants who were sick (cold or flu symptoms) at the time of the experiment were asked to postpone their appointment with the laboratory in order to ensure that they did not have an impaired sense of smell during the session.

Written informed consent was obtained from participants before their participation, though they came to the session under a false pretence (*i.e.*, to participate to a computerized experiment on picture categorization). At the end of the experiment, participants were entirely debriefed and told the real purpose of the study. In return for their participation, the participants received a €10 voucher at the end of the session.

Measurements

An adaptation of the Affective Shifting Task

In order to measure inhibition toward foods, we adapted the affective shifting task [44,45] modified by Mobbs, Iglesias, Golay, & Van der Linden, 2011. This task is based on the Go/No-go paradigm (for a review, see Gomez, Ratcliff, & Perea, 2007). In this task, participants must both (a) detect target stimuli (go trials) by pressing the spacebar on a computer keyboard and (b) withhold their response to distracter stimuli (no-go trials). Participants were instructed to respond as fast and as accurately as they could. During the task, two instruction types alternated: target stimuli were either food stimuli ("food set", HED or LED food pictures) or objects ("object set", tools or household objects). Stimuli were selected from FoodPics [48] and rigorously paired in terms of perceptual and consumer properties according to the procedure used in [23].

The task comprised 3 blocks of 112 trials each. Each block comprised 4 sets (order: food-object-food-object) of 28 trials each (28% HED trials, 28% LED trials and 44% objects trials, in a pseudo-random order without three pictures of the same type appearing consecutively). See fig 1. for details. Each set began with oral instructions about the target stimuli (food or object) given through a headset, then a fixation cross appeared for 500ms at the centre of a black screen. Subsequently, pictures appeared one by one for 500ms, with an inter-stimuli-interval of 900ms consisting of a white fixation cross on a black screen that participants were instructed to fixate. Commission and omission errors were signalled to the participant by a short sound conveyed by the headset. Blocks were separated by 1-minute pauses during which experimenters took the headsets off participants and invited them to relax. Prior to measurements, participants completed a brief training session comprising 4 sets of 10 trials in order to familiarize them with the task. They were asked to rate their hunger level on a 10-point Likert scale before and after the modified Affective Shifting Task.

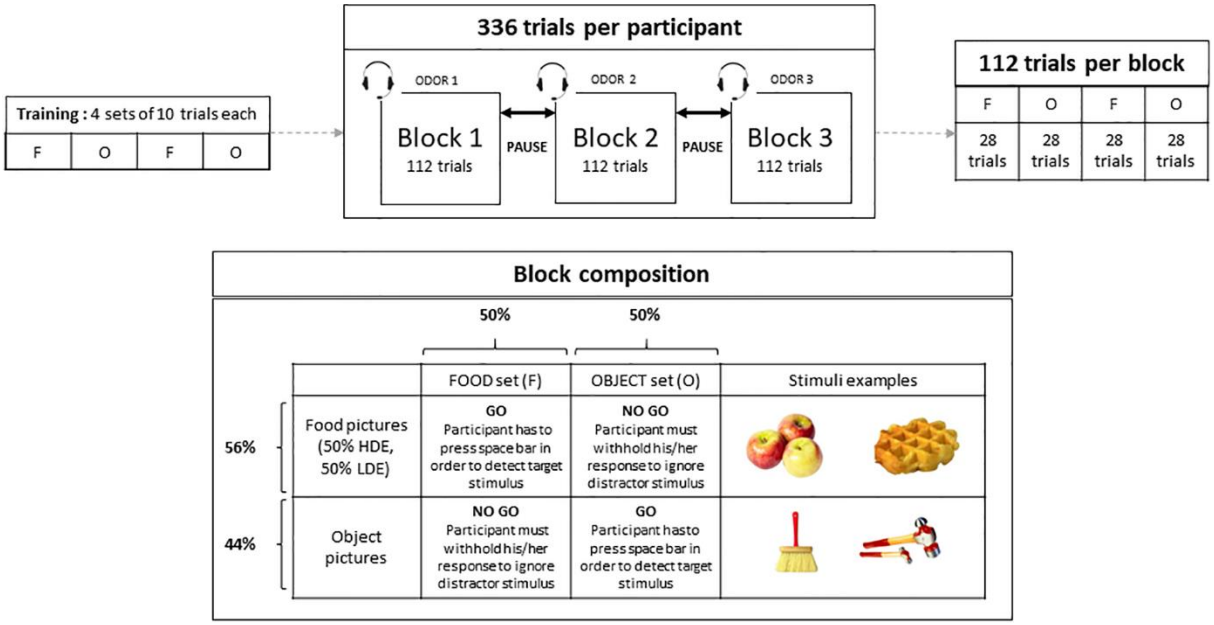


Fig 1. Composition of blocks, sets and trials of the modified Affective Shifting Task. F = food, O = object.

For each subject and for each experimental trial, we collected the reaction times (RT), the presence of a commission error (detecting a distractor stimulus) and the presence of an omission error (not detecting a target stimulus). Reaction times corresponded to the time between the appearance of the stimulus on screen and the moment the participant pressed the space bar to detect it (0 to 500ms). Commission errors corresponded to situations in the no-go trials in which the participant pressed the space bar, indicating a lack of response inhibition to distractor stimuli. Omission errors corresponded to go-trials for which the participant did not press the space bar to detect the target stimulus, indicating a lack of attention to the given stimulus [45,49].

Priming

In order to non-attentively expose participants to olfactory food cues, we used the olfactory priming paradigm developed by Marty & al. in 2017 [19,23]. In this paradigm, participants perform three identical blocks of a computerized task (here, the modified Affective Shifting Task) while wearing a headset with a microphone. The headsets are used to provide instructions to participants, and, unbeknownst to participants, the microphones are used as brackets for odorized microphone foams. Task blocks are separated by short pauses during which

experimenters discreetly switch the headsets in order to non-attentively expose participants to different olfactory food cues through the odorized foams of the headset's microphone. Our study had three different olfactory priming conditions: odour signalling HED foods (fatty sweet pound cake odour), odour signalling LED foods (fruity pear odour) and control condition in which the foam was not odorized.

Participants come to the laboratory under a false pretence (here, taking part in a study on picture categorization) so they do not guess the presence of olfactory cues during the session. At the end of the three blocks of the task, participants complete an investigation questionnaire in which they have to guess the aim of the experiment and indicate whether they noticed anything particular during the task that could have influenced their performance. Participants mentioning odours or headsets in this questionnaire are excluded from the study. This step ensures that no odour or headset change was perceived, which allows the implicit quality of the priming [23].

Global Cognitive Capacities

To ensure that differences in cognitive performance during the modified Affective Shifting Task were not due to general cognitive deficits, participants performed standardized tests, namely the Go/No-go and flexibility subtests of the computerized Test of Attentional Performance (TAP) neuropsychological test battery [50].

The Go/no-Go subtest explores response inhibition through a simple task in which the participant must detect target stimuli "X" and withhold a response when presented with distractor stimuli "+". The flexibility subtest assesses shifting abilities in mental flexibility. In this subtest, two stimuli appear, one on the left and one on the right side of the screen. One of the stimuli is round while the other is an angular shape. The participant must detect whether the round shape is on the left or on the right side of the screen by pressing the corresponding key with the dominant hand through several trials. Participants were given a brief training before each subtest. The assessment began systematically with the Go/No-go subtest.

Session

Participants came to the laboratory at 12 p.m. They were instructed to refrain from eating, drinking anything except water, wearing scented cosmetics, smoking or chewing gum for 3

hours prior to the session. They began the session with the three blocks of modified Affective Shifting Task, followed by the investigation questionnaire and a hunger rating on a 10-point Likert scale. Then, they were administered the two subtests of the TAP [50], namely Go/No-go and Flexibility, in order to check their global cognitive performance. Afterwards, participants filled a computerized version of the Questionnaire for Eating Disorder Diagnosis – Q-EDD [51,52] in order to identify and exclude participants with potential eating disorders. Finally, participants passed the European Test for Olfactory Capacities – ETOC [53] in order to ensure that they could correctly detect and identify odours. At the end of the session, the weight and height of each participant were measured, individually, in a separate room by the experimenter.

Data preparation

As instruction shifts modulate task difficulty [54], we created a two-level covariate to account for the cognitive load generated by the change of instructions between tasks (food-object-food-object). The two levels were "CL+" for the first 14 trials of each set and "CL-" for the second 14 trials of each set (total of 28 trials). The CL+ condition refers to a situation in which the individual becomes familiar with new instructions (detecting foods in food sets and detecting objects in object sets) and the implementation of the instructions is automatized during the set. In the CL- condition, the individual is already familiar with the instructions, implicating a lower cognitive load. This two-level covariate was integrated in further linear mixed models that are described below.

During data preparation, reaction times (RTs) inferior to 150ms were excluded from analysis because they reflect stimulus anticipation [46]. In order to analyse global reaction speed, we summarized, for each participant, RTs for which the spacebar was pressed (go trials without omissions and no-go trials with errors) by using the median per condition (olfactory prime type x stimulus type x cognitive load). For errors, we calculated the proportion of errors on no-go trials for each participant in each condition (olfactory prime type x stimulus type x cognitive load). For omission errors, the proportion of omissions among the go trials per condition was calculated for each participant.

For each dependent variable (RTs, proportion of commission errors, proportion of omission errors), we estimated a linear mixed model. The model initially involved four fixed factors (weight status group x stimulus type x olfactory prime type x cognitive load), all interactions,

and the individual as a random factor. We also added covariates such as age, global cognitive performance (flexibility and Go/no-Go) and sex. We then simplified the model by removing non-significant terms except if they were involved in a significant higher-order term. Contrasts were used to interpret significant main effects and interactions.

Statistical analysis was performed with R.3.4.3 software [55] using linear mixed models (nlme package v. 3.1-131 [56]) to explain reactivity to stimuli expressed in median RTs, inhibitory control deficit expressed in proportion of errors, and inattention expressed in proportion of omissions. Specific contrasts were subsequently tested using the contrast package [57,58]. The significance threshold was set at 0.05. Full data are available in the Supporting Information Files, see S1 Dataset.

Results

Sample characteristics

At the end of the tests, 33 participants were excluded from the sample (see details in Fig 2). Indeed, 25 declared that they had smelled an odour during the session, meaning that the priming was not implicit for those participants. Five participants were screened as disordered eaters according to the Q-EDD, and two more participants were excluded because their answers to the ETOC indicated that they had low olfactory capacities (hyposmia or anosmia). One participant was excluded from analysis because data from the flexibility subtest were missing.

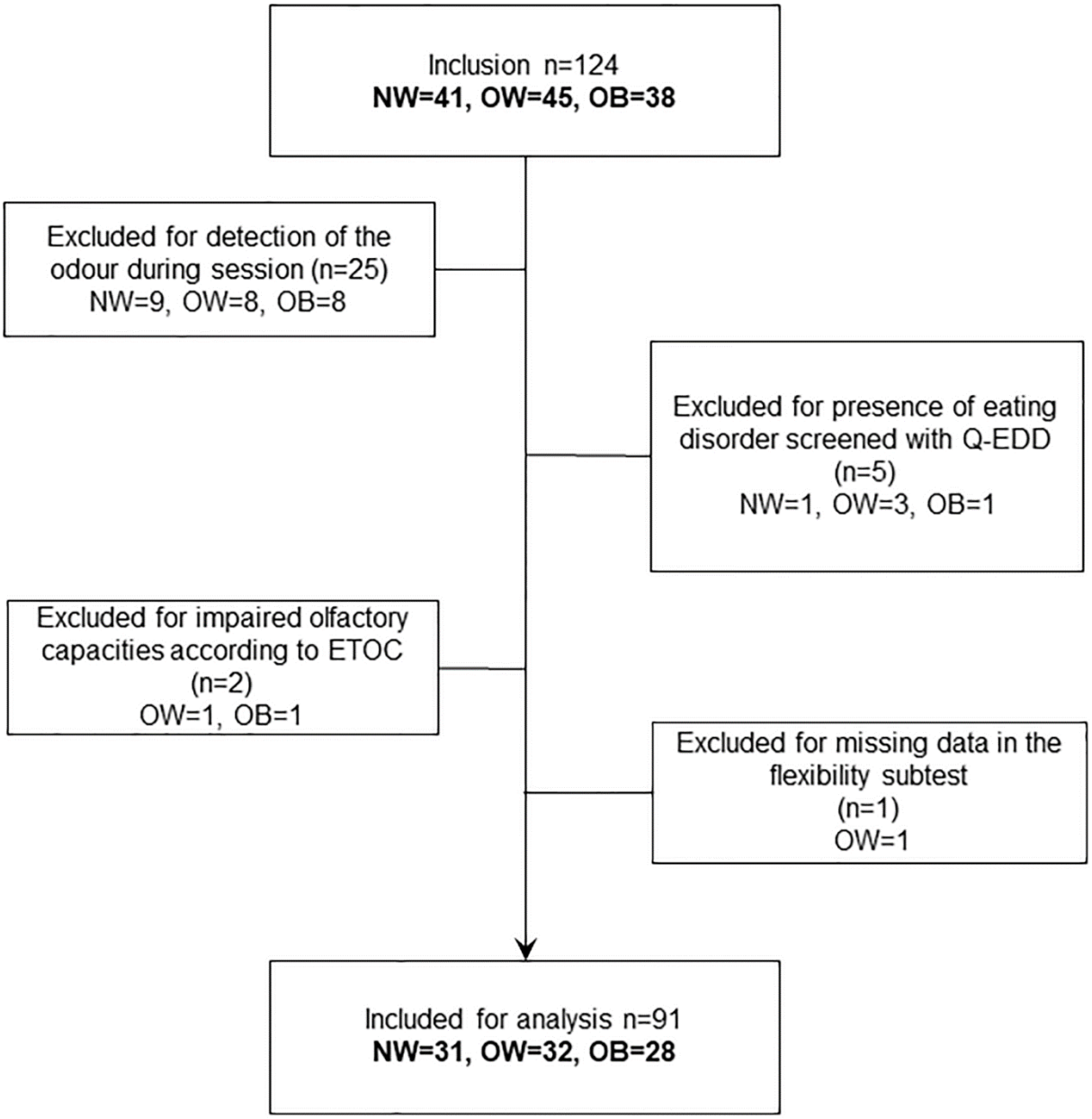


Fig 2. Flowchart of exclusions. NW = participants with normal weight, OW = participants with overweight, OB = participants with obesity.

Finally, 91 participants remained eligible for analysis: 31 participants with normal-weight, 32 participants with overweight and 28 participants with obesity (according to their BMI measurements).

When comparing the sociodemographic data of the 3 BMI groups, ANOVA test were used for quantitative variables and Chi2 tests were used for categorical variables (sex ratio, educational

level). No significant differences were observed in age, sex ratio, educational level, hunger level before the session or variations in hunger during the session. To measure the change in hunger, the hunger level before the session was subtracted from hunger level after session (both had been rated on a 10-point Likert scale before and after the modified Affective Shifting Task).

For the scores on the TAP sub-tests, performances are indicated in T-scores for the number of errors (reflective of inhibitory control capacities) in the Go/No-go subtest. For the flexibility subtest, a global performance index (GPI), [50] was calculated for each participant, based on the T-scores for reaction times and the T-scores concerning the number of errors for each participant ($0.707 * (T_{\text{Median RT}} + T_{\text{Number of errors}} - 100)$). If the GPI is positive (>0), individual performance is interpreted as being above the mean performance of the reference sample (normative data), while if it is negative (< 0), it is interpreted as being lower than the average performance of the reference sample (normative data). T-scores are normalized scores based on the percentile of scores in a reference population (mean=50, SD=10, [50]). Average performance is comprised between 43 and 57 (corresponding to the 25 and 75 percentiles, respectively) and T-scores are adjusted on sex, gender and educational level. No significant difference in global inhibition (Go/No-go) and flexibility were found between weight status groups. Details of sociodemographic characteristics are displayed in Table 1.

Table 1: Participants' characteristics.

	Weight status					
	Normal-weight (NW) n=31 (34%)		Overweight (OW) n=32 (35%)		Obesity (OB) n=28 (31%)	
	Mean	(SD)	Mean	(SD)	Mean	(SD)
Age (y): p=0.70	43.41	(11.07)	44.15	(8.76)	41.89	(11.30)
BMI (kg/m²): p<0.001	21.95[a]	(1.77)	27.28[b]	(1.37)	36.43[c]	(5.75)
Hunger level before session (1-10): p=0.19	6.33	(2.14)	5.62	(2.75)	5.07	(2.97)
Variation in hunger: p=0.60	0.45	(0.75)	0.75	(1.42)	0.44	(1.82)
TAP Go/No-go subtest – (T-score): p=0.15	48.45	(6.65)	46.71	(6.03)	44.67	(9.22)
TAP Flexibility subtest – (GPI): p=0.92	1.41	(6.09)	1.96	(8.60)	1.26	(7.45)
	n	%	n	%	n	%
Sex: p=0.69						
Women	19	(61%)	16	(50%)	17	(61%)
Men	12	(39%)	16	(40%)	11	(39%)
Level of education: p=0.85						
< 14 years	16	(52%)	16	(50%)	16	(57%)
> 14 years	15	(48%)	16	(50%)	12	(43%)

Quantitative variables expressed as mean (SD)

[a, b, c] Superscript letters are associated with values (means or numbers), same letters indicating that the difference between values is not significant. P values indicate the significance of the weight status effect. GPI = Global Performance Index.

Reaction times

The main effect of the type of stimulus [$F_{(2, 1536)}$=46.94, p<0.001)], the interaction between weight status and olfactory prime type [$F_{(4, 1536)}$= 3.21, p=0.012] and the interaction between weight status and cognitive load [$F_{(2,1536)}$]=5.47, p=0.004] reached significance in the RT linear mixed model. Age and global cognitive performance (Flexibility and Go/no-Go performances) were also kept in the model as they were significant as covariates. Main results are shown in Fig 3.

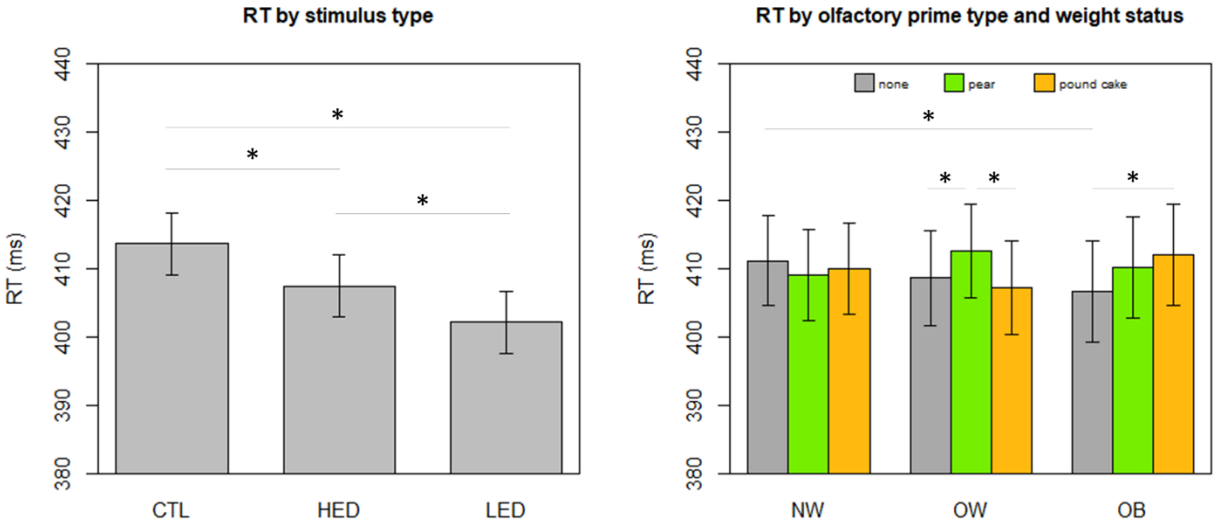


Fig 3. (left) RT by stimulus type, CTL=objects (control) pictures, HED=high energy-dense foods pictures, LED=low energy-dense foods pictures, averaged on olfactory prime type, cognitive load condition and weight status. (right) RT by olfactory prime type and weight status (NW=normal-weight, OW=overweight, OB=obesity), averaged on stimulus type and cognitive load condition. Predicted values and 95% confidence intervals. * $p < 0.05$.

Regarding the main effect of stimulus type, individuals detected food pictures faster than object pictures [HED vs objects = -6.20ms ($p<0.001$), LED vs objects = -11.53ms ($p<0.001$)], and responded quicker to LED food pictures than HED food pictures [LED vs HED = -5.33ms, ($p<0.001$)].

Regarding the interaction between weight status and olfactory prime type, participants with obesity were slower to detect stimuli of all types when primed with a pound cake odour [OB, pound cake odour vs none=+5.30ms, ($p=0.01$) and, non-significantly, when primed with a pear odour [OB, pear *vs.* none=+3.54ms, ($p=0.09$)]. Participants with overweight were slower to detect stimuli when primed with a pear odour [OW, pear vs pound cake=+5.33ms ($p=0.01$)] and when they were primed with a pear odour *vs.* no odour [OW, pear vs none=+3.95ms, ($p=0.049$)]. On the contrary, participants with normal weight showed no significant difference between RT when primed with a pound cake odour ($p=0.58$) or with a pear odour ($p=0.30$).

When we looked at the interaction between weight status and cognitive load, only normal-weight individuals had different reaction times depending on cognitive load conditions. More specifically, they were slower when the cognitive load was higher [NW, CL+ vs CL-=+5.22ms,

(p=0.002)]. In addition, in the higher cognitive load conditions, normal-weight participants tended to be slower than participants with overweight [CL+, NW *vs.* OW=+8.34ms, (p=0.07)]. However, these results only approached significance.

Proportion of commission errors

Three terms of the commission errors linear mixed model reached significance: the main effect of stimulus type [$F_{(2,\ 1542)}$=51.36, p<0.001], the main effect of cognitive load condition [$F_{(1,1542)}$=24.29, p<0.001] and the interaction between cognitive load and stimulus type [$F_{(2,\ 1542)}$= 5.29, p=0.005]. Sex and global cognitive performance on the Go/no-Go subtest were also kept in the model as they were significant as covariates. Results are shown in Fig 4.

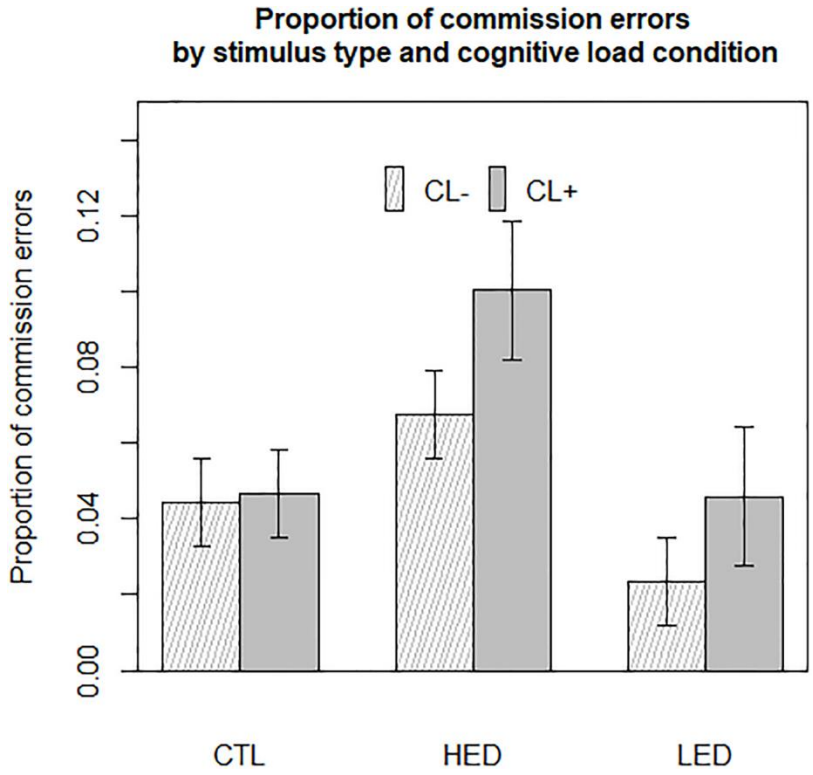


Fig 4. Proportion of commission errors by stimulus type and cognitive load condition averaged on olfactory prime type and weight status. CL+=high cognitive load condition, CL-=low cognitive load condition, CTL=objects (control) pictures, HED=high energy-dense food pictures, LED=low energy-dense food pictures. Predicted values and 95% confidence intervals.

Concerning the effect of cognitive load, participants made 43% more commission errors in the CL+ condition than in the CL- condition. [CL+ *vs.* CL- = +2.07 errors, p<0.001].

Stimulus type effect was dependent on cognitive load condition. In both the high and low cognitive conditions, participants made on average 84% more commission errors when facing HED food stimuli than when facing objects [HED vs objects=+3.95 errors, p<0.001]. Participants also made 142% more commission errors when facing HED food stimuli than when facing LED food stimuli [HED *vs.* LED=+4.92 errors, p<0.0001]. A slight difference in the amount of commission errors made was observed between LED food stimuli and objects, but it did not reach significance in the CL+ condition [CL+, LED *vs.* objects= -1 error, (NS, p=0.059)]. Nevertheless, in the CL- condition, participants made 90% more commission errors for objects than for LED food stimuli [CL-, objects vs LED=+2.09 errors, (p=0.004)].

Participants made more commission errors in CL+ conditions than in CL- conditions for food stimuli: 48% and 96% more commission errors were made in the CL+ condition for HED and LED food stimuli, respectively [HED, CL+ *vs.* CL-= +3.50 errors, p <0.001 ; LED, CL+ *vs.* CL-= +2.48 errors, p<0.001)]. Participants did not make a significantly different proportion of commission errors between high and low cognitive load conditions when facing object stimuli [objects, CL+ *vs.* CL-=+0.22 errors, p=0.75].

In sum, HED food pictures induced more disinhibition than LED food and object pictures. The cognitive load modulated this disinhibition for food stimuli but not for neutral stimuli.

Proportion of omission errors

Only two terms of the linear mixed model reached significance for the proportion of omission errors: main effect of type of stimulus [$F_{(2,1541)}$=90.45, p<0.001] and interaction of weight status group and type of stimulus [$F_{(4,1541)}$=2.67, p=0.03]. Age and global cognitive performance on the Go/no-Go subtest were also kept in the model as they were significant as covariates.

Concerning the main effects of stimulus type, participants made 117.2% more omission errors when facing HED food stimuli than facing LED food stimuli [HED *vs.* LED=+6.35 omissions errors, p<0.001]. They also made significantly fewer omission errors for food stimuli than for objects: 15.6% and 61.2% less omission errors were made for HED and LED food stimuli,

respectively, in comparison with object stimuli [HED *vs.* objects=-3.49 omission errors, p<0.0001, LED *vs.* objects= -9.85 omission errors, p<0.001].

When we focused on the interaction between weight status group and stimulus type, we found that NW participants made more omissions than OW participants when facing HED food stimuli [HED, NW *vs.* OW=+4.32 omission errors, (p=0.044)]. No other effects approached significance. In sum, food pictures, especially HED foods, elicited more omission errors than neutral pictures in all participants.

Discussion

Our objective was to characterize deficits in inhibitory control toward foods in different weight status groups (NW, OW, OB), and to assess the impact of implicit olfactory priming (pound cake, pear, control) on such processes.

Global performance

Global performance for inhibitory control was similar for all groups in our sample, as measured by the Go/no-Go subtest from the TAP, and for flexibility as measured with the flexibility subtest from the same battery. Contrary to previous findings [29,30,59–61], inhibitory control and mental flexibility capacities were similar regardless of weight status. In addition, the number of commission errors, omission errors and reaction times in the modified Affective Shifting Task revealed no significant differences according to weight status when participants were not primed with a non-attentively perceived food cue. This suggests that common processes in the detection of stimuli and inhibition capacities are not dependent on weight status.

Reactivity to foods

In our experiment, all participants reacted more quickly to food pictures than to neutral pictures. This highlights that food stimuli undergo faster processing, which is in line with previous literature [23,62–66]. Indeed, food is essential for survival (*i.e.* a primary motivated goal of the individual) and has a rewarding quality, which are characteristics of a salient stimulus [12].

The present study distinguished the approach bias for low energy-dense (LED) foods and for high energy-dense (HED) foods. While comparing RTs for high-calorie and low-calorie foods, Meule et al. suggested that longer RTs for HED foods indicated increased attention toward them. This relates to the fact that HED foods capture attention more forcefully than LED foods in the early stages of cognitive processing, which is consistent with our previous work on orienting attentional biases [23]. Moreover, it seems that HED food stimuli tend to capture attentional focus for longer periods of time than LED food stimuli. This might be behaviourally reflected in reaction times, as highlighted by neuroimaging studies showing discriminative patterns of activity in the brain for high and low-calorie food stimuli [67,68]. In our experiment, individuals were faster to detect LED food stimuli than HED food stimuli. This finding may relate to the attentional dimension of inhibitory control [27], which could be impaired by the perception of HED food pictures.

HED food stimuli processing might initially be facilitated by the high perceptual salience of high-calorie foods. We suggest that over time, the detection of HED food stimuli is impaired by their capacity to attract the focus of attention (slowed disengagement, [69,70]), which slows behavioural responses. On the contrary, LED food stimuli processing might be facilitated by the earlier identification of fruit stimuli in our experiment. As food stimuli, LED stimuli are also salient. However, their processing is not impaired by the attentional approach bias elicited by the higher appetitive quality of HED food stimuli. This effect results in a decrease in reaction times for LED foods compared with HED foods, partly explaining why participants had shorter RT and fewer omission errors for LED food stimuli than for HED food stimuli in our experiment.

Differences in vulnerability to food cues in individuals with higher weight status

Concerning global reaction times, we found some priming effects for individuals with overweight and obesity. More specifically, individuals with obesity and with overweight were slower to detect all kinds of stimuli when primed with a pound cake odour and a pear odour, respectively, regardless of the go/no-go instructions. In our study, the odour signalling HED or LED foods could have slowed the bottom-up processing of foods by adding another element to take into account in the detection of stimuli. This indicates that olfactory food cues were implicated in the detection process by slowing RT in individuals of higher weight status. We

consequently hypothesize that implicit priming effects only influence the bottom-up processing of food cues.

The result of the priming effect seen here is congruent with the results of previous studies [19,23]. In an earlier study, we found that implicit priming of olfactory food cues had differentiated effects: individuals with obesity were more vulnerable to a non-attentively perceived pound cake odour in their bottom-up processing of food cues [23]. For individuals with overweight in the present study, the effect of the pear odour is consistent with a study by Marty & al [19] in which olfactory pear and pound cake primes had differentiated effects when they were non-attentively perceived by children with overweight. Indeed, these children were more prone to choose fruit in a forced-choice task when they were non-attentively primed with a pear odour. The authors explained this result by hypothesizing that individuals with overweight might be more confronted to the idea of "dieting" in their daily lives, and so this concept might be more easily activated by a non-attentively perceived odour signalling a LED food. Future research could focus on understanding why odours signalling LED foods seem to affect individuals with overweight while odours signalling HED foods affect individuals with obesity. These food types may differentially activate certain concepts and mental representations in individuals according to weight status.

Inhibitory control toward foods

Though we hypothesized that individuals with higher weight status would show less inhibitory control toward foods than lean individuals, it was not the case in our experiment. In fact, we found common patterns of inhibitory control toward food stimuli in individuals across the weight status spectrum.

In our experiment, participants made more commission errors when they were facing HED food stimuli. No difference was found in regard to weight status, which is congruent with part of the literature [71,72]. This observation strongly suggests that the lack of inhibition toward foods is a common process for all individuals and it is also consistent with the idea that the rewarding quality of HED foods makes them more appealing [73–75], leading to an increased approach bias. The salience of HED foods combined with the associated approach bias makes the detection of HED food stimuli a prepotent response for the individual. A prepotent response is cognitively more difficult to inhibit than other response options, which need to be inhibited in

order to exhibit goal-congruent behaviour. This effect appears to be even stronger when cognitive load is high because individuals make significantly more commission errors toward HED food stimuli in this condition.

We found different patterns of inhibitory control toward HED and LED foods, indicating that the top-down processing of those stimuli is differentiated. In lower cognitive load conditions, individuals made fewer commission errors when facing LED food stimuli than when facing HED food or object stimuli. We can thus presume that fruits (LED foods) are processed faster than other stimuli. This assumption is supported by the work of Leleu et al., 2016 [76], who showed that fruit pictures elicited earlier event-related responses in the brain than other food types (vegetables, HED foods) during a food discrimination task.

Priming effects: why does implicit priming only impact bottom-up processes?

In our study, we tested whether implicit priming with olfactory food cues would impact inhibitory control, a decision-driven, or "top-down" process measured by the proportion of commission errors made by participants in each olfactory condition. Unexpectedly, no priming effect was observed for commission errors, contrary to the effects observed with the exact same olfactory priming paradigm used in a Visual Probe Task to measure orienting attentional biases (a stimulus-driven, bottom-up process) [23]. Because orienting attentional biases are data-driven processes, sensory inputs are important determiners of behavioural response in such tasks [77]. Moreover, the Visual Probe Task needed less top-down cognitive effort than the modified Affective Shifting Task. Hoffman-Hensel & al, 2017, who observed that cognitive effort altered the neural processing of food odours, found that involvement in multiple tasks decreased participants' perception of odour intensity [78]. We can suppose that implicit olfactory cues effects may not have been strong enough to act as a facilitation context impairing the inhibitory control.

According to the I-RISA model of addictive behaviour, rewarding cues have an increased salience for individuals, which is related to lower inhibitory control in cognitive tasks and associated with specific activations in the brain [11,79,80]. In our study, participants showed similar patterns of inhibitory control toward foods, but the implicit priming of olfactory food cues (supposed to act as a facilitation context and increase the salience of visual food stimuli) did not seem to modulate inhibitory control performance. Some works from the field of

addictions and neuroscience suggest that implicit cues (such as masked cues or subliminal pictures) might activate different areas of the brain (limbic system) than explicit rewarding cues (prefrontal cortex) in addicted individuals [79,81,82]. This assumption supports the fact that implicit and explicit priming might differentially modulate bottom-up and top-down processing of stimuli. An alternative explanation for the absence of priming effect on inhibitory control in our study might be that implicit olfactory stimuli might only target the bottom-up processing of food pictures.

Modulation of inhibitory control capacities toward food by cognitive load

Finally, the high cognitive load condition induced slower reaction times and more commission errors for all participants facing all types of stimuli in each olfactory condition. This reflects the worse performance and higher mental effort required to complete the task [83] and confirms that the first half of each set was more difficult, validating the cognitive load effect when the instructions are changed between two sets.

Participants made more commission errors in high cognitive load situations when faced with food stimuli. This was not the case for neutral stimuli, seeing as the proportion of errors for object pictures did not differ between the high cognitive load and the low cognitive load condition. This led us to conclude that cognitive load modulates inhibitory control, but only toward foods. The increase in mental effort that was required to process the instructions led participants to make significantly more impulsive detections, resulting in more commission errors. We can deduce that significant cognitive resources were needed for the integration and automatization of the new instructions. In the meantime, the amount of cognitive resources needed to inhibit the approach tendency elicited by HED foods was increased by the higher cognitive load. There were thus not enough resources allocated to inhibit interferences from prepotent responses, triggering commission errors. Indeed, the cognitive load effect indicates that there is a cognitive deficit in inhibitory control prior to behavioural disinhibition, as indicated by commission errors. This result correlates with previous research investigating the role of cognitive load in inhibitory control [84] and showing that working memory load (resulting here from the new set of instructions) interacts heavily with inhibitory control [28].

Food stimuli are salient, which induces an approach bias that interferes with the initiation of goal-directed behaviour on a cognitive level, leading to cognitive and behavioural deficits in

inhibitory control. This process occurs in individuals regardless of weight status, and its intensity seems to vary in function of food characteristics (*i.e.* category and/or energy density). Moreover, the deficit in inhibitory control induced by food stimuli is modulated by the cognitive load in working memory, which means that the more mental effort the individual has to make while performing a task, the fewer resources are available to inhibit prepotent responses. This phenomenon leads to more disinhibition, meaning that individuals may be more likely to eat more HED foods when their cognitive load is heavier.

Limitations

As discussed above, our study presents some limitations. First, we question the use of fruit stimuli as LED food stimuli. Indeed, fruits are frequently consumed in non-processed and raw forms, making it easier to distinguish them from objects than HED foods in the earliest stages of feature perception. Some empirical data from electroencephalography demonstrated that fruits do indeed undergo earlier processing. The pattern of evoked potentials (EPs) for the fruity quality of food stimuli seems distinct from the patterns of EPs observed for sweetness/saltiness and low/high energetic value [76]. Moreover, there is less diversity in the presentation of fruit in everyday life when compared with sweet HED foods (chocolate bars, cakes and pastries), which come in a variety of forms. In terms of perception, the distinction between raw and transformed food goes beyond the calorie content [85]. We hypothesize that identifying pictures of fruit over a short time during a single presentation might thus be facilitated because fruits are well-known and belong to a universal category [86]. There are limited options in the pairing of fruits to comparable HED foods because it is difficult to find sweet calorie-dense foods that are not processed and that belong to a universal category. In our study, we only used sweet stimuli for odour-congruency and literature fidelity reasons, but this remark may or may not refer to vegetables, which are also consumed raw and non-processed, but do not benefit from early perception facilitation [76]. There is a need to find pictorial LED stimuli that fit HED stimuli in visual and hedonic properties, but also in their intrinsic features such as degree of processing and distance from categorical prototype.

Several studies have observed interesting priming effects with the pear and pound cake odour, which are odorant mixtures [19,20,23]. These effects were observed in relation to weight status, which indicates the need to identify olfactory components that tap into specific (and unknown

to date) mental representations contributing to weight-status specific responses. Concerning the implicit priming, we suggest that a context of more incentive facilitation (involving a less implicit sensory modality than olfaction, or in multi-modal priming) might have a stronger influence on top-down processing. However, we insist on using implicit priming to experimentally manipulate the effects of incidental cues from the environment in laboratory experiments seeing as non-attentively perceived cues appear to have a stronger effect on cognitive processing [23] and behaviour [39] than explicitly primed cues. Also, they are more reflective of the influences of environmental cues which often occur out of the individual's attentional focus [7].

Moreover, we suppose that the different stimuli types elicited different attentional control patterns, with HED food stimuli more likely to attract attention, thus impairing attentional control. Unfortunately, our experiment was not designed to identify the phenomenon of attentional control toward foods, and reaction times do not represent a pure measure of distinct attentional mechanisms [33]. Such measures should be included in further experiments in order to refine our understanding of the role of the attentional functions in food stimuli processing, for instance by adding eye-tracking measurements into the experimental design, similar to the method tested by Doolan et al [87].

Perspectives

Cognitive load in obesity

In the Ironic Process Theory [88], the daily life stressors increase cognitive load, which modulates inhibitory control. These synergic effects tend to produce behaviours opposite to what was primarily intended by the individual. Considerable research has shown that individuals with obesity and overweight are more at risk of exposure to daily life stressors: low income [89], anxiety [90], psychological health impairments [91], physical comorbidities [92], and discrimination and stigmatization in relation to body weight [93,94]. Considering all these aspects leads us to suppose that individuals with obesity might be subject to higher cognitive loads during daily decision-making, which could alter their inhibitory control and consequently, produce goal-unrelated behaviours. In our study, individuals were experimentally confronted to the same amount of cognitive load, which made it impossible to discriminate individual levels of inhibitory control toward foods according to weight status. We now suggest that

variations in everyday cognitive load might explain some of the relationships between behaviourally reflected lack of inhibitory control facing foods and weight status that was identified in other studies. In future research, these relationships should be characterized in order to better understand overweight and obesity.

Implicit priming as a context of facilitation

Several studies focusing on inhibitory control manipulated the cognitive processing of food stimuli by creating a context of facilitation with priming (priming concepts of impulsivity [37] and unrestrained food consumption [38]), which led to interesting results. Nevertheless, such priming was explicit and is therefore not reflective of incidental food cues from the environment, which was part of the objective of our study. Different forms of implicit priming could be used in future research in order to assess the effects of implicit food cues on inhibitory control or other top-down processes toward foods in a unimodal or multimodal manner. For instance, the combination of auditory and olfactory priming has already been suggested as a means to influence individual food choices [17]. In future research, this type of multimodal priming could be used as an experimental context of facilitation in order to elicit a lack of inhibitory control for food intake.

Conclusion

Our study highlights common mechanisms relative to the top-down processing of foods, regardless of individual weight status. Food stimuli are salient, which induces an approach bias that interferes with the initiation of goal-directed behaviour on a cognitive level, leading to cognitive and behavioural deficits in inhibitory control. This process occurs in individuals regardless of weight status, and its intensity seems to vary in function of food characteristics (*i.e.* category and/or energy density). This deficit in inhibitory control induced by food stimuli is modulated by the cognitive load in working memory, which means that the more mental effort the individual has to make while performing a task, the fewer resources are available to inhibit prepotent responses. Future research should focus on weight status in relation to cognitive load in order to improve our understanding of unhealthy food choices in obesity. Our data support that implicit priming selectively modulates bottom-up processing. Specific priming effects of food cues by weight status were also characterized in bottom-up processing,

which opens a new path for research on mental representations activated by food cues among the weight status continuum.

Acknowledgements

We would like to thank the society Psytest, for lending us the five TAP versions, and especially Mr Benjamin Steves for his informative help about the material. We also would like to thank Jacques Maratray for developing modified Affective Shifting Task and Suzanne Rankin for English proofreading. We also thank the Chemosens platform for their help with participants' recruitment, as well as Maya Filhon for her technical help during experimental sessions.

References

1. Batterink L, Yokum S, Stice E. Body mass correlates inversely with inhibitory control in response to food among adolescent girls: an fMRI study. NeuroImage. 2010 Oct 1;52(4):1696–703.

2. Houben K, Nederkoorn C, Jansen A. Eating on impulse: The relation between overweight and food-specific inhibitory control. Obesity. 2014;22(5):E6–8.

3. Swinburn BA, Sacks G, Hall KD, McPherson K, Finegood DT, Moodie ML, et al. The global obesity pandemic: shaped by global drivers and local environments. The Lancet. 2011 Aug 27;378(9793):804–14.

4. Glanz K, Sallis JF, Saelens BE, Frank LD. Healthy Nutrition Environments: Concepts and Measures. Am J Health Promot. 2005 May 1;19(5):330–3.

5. Paquet C, de Montigny L, Labban A, Buckeridge D, Ma Y, Arora N, et al. The moderating role of food cue sensitivity in the behavioral response of children to their neighborhood food environment: a cross-sectional study. Int J Behav Nutr Phys Act. 2017 Jul 5;14(1):86.

6. Townshend T, Lake A. Obesogenic environments: current evidence of the built and food environments. Perspect Public Health. 2017 Jan;137(1):38–44.

7. Cohen DA. Neurophysiological pathways to obesity: below awareness and beyond individual control. Diabetes. 2008 Jul;57(7):1768–73.

8. Spence C, Okajima K, Cheok AD, Petit O, Michel C. Eating with our eyes: From visual hunger to digital satiation. Brain Cogn. 2016;110:53–63.

9. Bailey RL. Modern foraging: Presence of food and energy density influence motivational processing of food advertisements. Appetite. 2016 Dec 1;107:568–74.

10. Appelhans BM. Neurobehavioral Inhibition of Reward-driven Feeding: Implications for Dieting and Obesity. Obesity. 2009;17(4):640–7.

11. Volkow ND, Wang G-J, Telang F, Fowler JS, Goldstein RZ, Alia-Klein N, et al. Inverse Association Between BMI and Prefrontal Metabolic Activity in Healthy Adults. Obesity. 2009;17(1):60–5.

12. Munneke J, Belopolsky AV, Theeuwes J. Distractors associated with reward break through the focus of attention. Atten Percept Psychophys. 2016;78(7):2213–25.

13. Dai J, Cone J, Moher J. Perceptual salience influences food choices independently of health and taste preferences. Cogn Res Princ Implic [Internet]. 2020 Jan 3 [cited 2020 Apr 7];5. Available from: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6942074/

14. Buckland NJ, Er V, Redpath I, Beaulieu K. Priming food intake with weight control cues: systematic review with a meta-analysis. Int J Behav Nutr Phys Act. 2018 Jul 9;15(1):66.

15. Forwood SE, Ahern AL, Hollands GJ, Ng Y-L, Marteau TM. Priming healthy eating. You can't prime all the people all of the time. Appetite. 2015 Jun 1;89:93–102.

16. Bargh JA, Williams LE, Huang JY, Song H, Ackerman JM. From the physical to the psychological: Mundane experiences influence social judgment and interpersonal behavior. Behav Brain Sci. 2010 Aug;33(4):267–8.

17. Chambaron S, Chisin Q, Chabanet C, Issanchou S, Brand G. Impact of olfactory and auditory priming on the attraction to foods with high energy density. Appetite. 2015 Dec 1;95:74–80.

18. Stevenson RJ. An Initial Evaluation of the Functions of Human Olfaction. Chem Senses. 2010 Jan 1;35(1):3–20.

19. Marty L, Bentivegna H, Nicklaus S, Monnery-Patris S, Chambaron S. Non-Conscious Effect of Food Odors on Children's Food Choices Varies by Weight Status. Front Nutr. 2017;4:16.

20. Gaillet M, Sulmont-Rossé C, Issanchou S, Chabanet C, Chambaron S. Priming effects of an olfactory food cue on subsequent food-related behaviour. Food Qual Prefer. 2013 Dec 1;30(2):274–81.

21. Coelho JS, Polivy J, Peter Herman C, Pliner P. Wake up and smell the cookies. Effects of olfactory food-cue exposure in restrained and unrestrained eaters. Appetite. 2009 Apr 1;52(2):517–20.

22. Proserpio C, Invitti C, Boesveldt S, Pasqualinotto L, Laureati M, Cattaneo C, et al. Ambient Odor Exposure Affects Food Intake and Sensory Specific Appetite in Obese Women. Front Psychol [Internet]. 2019 Jan 15 [cited 2020 Apr 7];10. Available from: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6340985/

23. Mas M, Brindisi M-C, Chabanet C, Nicklaus S, Chambaron S. Weight Status and Attentional Biases Toward Foods: Impact of Implicit Olfactory Priming. Front Psychol

[Internet]. 2019 [cited 2019 Aug 9];10. Available from: https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpsyg.2019.01789/full

24. Barkley RA. Executive Functions: What They Are, How They Work, and Why They Evolved. Guilford Press; 2012. 258 p.

25. Cserjési R, Luminet O, Poncelet A-S, Lénárd L. Altered executive function in obesity. Exploration of the role of affective states on cognitive abilities. Appetite. 2009 Apr;52(2):535–9.

26. Friedman NP, Miyake A. The relations among inhibition and interference control functions: a latent-variable analysis. J Exp Psychol Gen. 2004 Mar;133(1):101–35.

27. Diamond A. Executive Functions. Annu Rev Psychol. 2013;64(1):135–68.

28. Tiego J, Testa R, Bellgrove MA, Pantelis C, Whittle S. A Hierarchical Model of Inhibitory Control. Front Psychol [Internet]. 2018 Aug 2 [cited 2019 Nov 14];9. Available from: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6085548/

29. Boeka AG, Lokken KL. Neuropsychological performance of a clinical sample of extremely obese individuals. Arch Clin Neuropsychol. 2008 Jul 1;23(4):467–74.

30. Fagundo AB, de la Torre R, Jiménez-Murcia S, Agüera Z, Granero R, Tárrega S, et al. Executive functions profile in extreme eating/weight conditions: From anorexia nervosa to obesity. PLoS ONE. 2012;7(8).

31. Nederkoorn C, Smulders FTY, Havermans RC, Roefs A, Jansen A. Impulsivity in obese women. Appetite. 2006 Sep 1;47(2):253–6.

32. Prickett C, Brennan L, Stolwyk R. Examining the relationship between obesity and cognitive function: A systematic literature review. Obes Res Clin Pract. 2015 Mar 1;9(2):93–113.

33. Meule A, Lutz APC, Krawietz V, Stützer J, Vögele C, Kübler A. Food-cue affected motor response inhibition and self-reported dieting success: a pictorial affective shifting task. Front Psychol [Internet]. 2014 Mar 13 [cited 2019 Oct 24];5. Available from: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3952046/

34. Kulendran M, Vlaev I, Sugden C, King D, Ashrafian H, Gately P, et al. Neuropsychological assessment as a predictor of weight loss in obese adolescents. Int J Obes. 2014 Apr;38(4):507–12.

35. Meule A, Kübler A. Double trouble. Trait food craving and impulsivity interactively predict food-cue affected behavioral inhibition. Appetite. 2014 Aug 1;79:174–82.

36. Price M, Lee M, Higgs S. Food-specific response inhibition, dietary restraint and snack intake in lean and overweight/obese adults: a moderated-mediation model. Int J Obes 2005. 2016 May;40(5):877–82.

37. Guerrieri R, Nederkoorn C, Jansen A. Disinhibition is easier learned than inhibition. The effects of (dis)inhibition training on food intake. Appetite. 2012 Aug;59(1):96–9.

38. Hall PA. Executive control resources and frequency of fatty food consumption: Findings from an age-stratified community sample. Health Psychol. 2012;31(2):235–41.

39. Marteau TM, Hollands GJ, Fletcher PC. Changing human behavior to prevent disease: the importance of targeting automatic processes. Science. 2012 Sep 21;337(6101):1492–5.

40. Köster EP. The Specific Characteristics of the Sense of Smell. In: Rouby C, Schaal B, Dubois D, Gervais R, Holley A, editors. Olfaction, Taste, and Cognition. 1 edition. New York: Cambridge University Press; 2002.

41. Smeets MAM, Dijksterhuis GB. Smelly primes – when olfactory primes do or do not work. Front Psychol [Internet]. 2014 Feb 12 [cited 2019 Dec 6];5. Available from: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3921890/

42. Komaroff M. For Researchers on Obesity: Historical Review of Extra Body Weight Definitions [Internet]. Journal of Obesity. 2016 [cited 2018 Sep 13]. Available from: https://www.hindawi.com/journals/jobe/2016/2460285/

43. Nuttall FQ. Body Mass Index. Nutr Today. 2015 May;50(3):117–28.

44. Dias R, Robbins TW, Roberts AC. Dissociation in prefrontal cortex of affective and attentional shifts. Nature. 1996 Mar;380(6569):69–72.

45. Murphy FC, Sahakian BJ, Rubinsztein JS, Michael A, Rogers RD, Robbins TW, et al. Emotional bias and inhibitory control processes in mania and depression. Psychol Med. 1999 Nov;29(6):1307–21.

46. Mobbs O, Iglesias K, Golay A, Van der Linden M. Cognitive deficits in obese persons with and without binge eating disorder. Investigation using a mental flexibility task. Appetite. 2011 Aug;57(1):263–71.

47. Gomez P, Ratcliff R, Perea M. A Model of the Go/No-Go Task. J Exp Psychol Gen. 2007 Aug;136(3):389–413.

48. Blechert J, Lender A, Polk S, Busch NA, Ohla K. Food-Pics_Extended—An Image Database for Experimental Research on Eating and Appetite: Additional Images, Normative Ratings and an Updated Review. Front Psychol [Internet]. 2019 [cited 2019 Nov 14];10. Available from: https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpsyg.2019.00307/full

49. Bezdjian S, Baker LA, Lozano DI, Raine A. Assessing inattention and impulsivity in children during the Go/NoGo task. Br J Dev Psychol. 2009 Jun 1;27(2):365–83.

50. Zimmermann P, Fimm B. Tests d'Évaluation de l'Attention (TAP) - Version 2.3.1. Herzogenrath: Psytest.; 2010.

51. Callahan S, Rousseau A, Knotter A, Bru V, Danel M, Cueto C, et al. [Diagnosing eating disorders: presentation of a new diagnostic test and an initial epidemiological study of eating disorders in adolescents]. L'Encephale. 2003;29(3 Pt 1):239–47.

52. Mintz LB, O'Halloran MS, Mulholland AM, Schneider PA. Questionnaire for Eating Disorder Diagnoses: Reliability and validity of operationalizing DSM—IV criteria into a self-report format. J Couns Psychol. 1997;44(1):63–79.

53. Thomas-Danguin T, Rouby C, Sicard G, Vigouroux M, Farget V, Johanson A, et al. Development of the ETOC: a European test of olfactory capabilities. Rhinology. 2003 Sep;41(3):142–51.

54. Meule A. Reporting and Interpreting Task Performance in Go/No-Go Affective Shifting Tasks. Front Psychol [Internet]. 2017 May 9 [cited 2019 Oct 24];8. Available from: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5422529/

55. R Development Core Team. R: A Language and Environment for Statistical Computing [Internet]. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing; 2008. Available from: http://www.r-project.org%7D%2C/

56. Pinheiro J, Bates D. nlme: Linear and Nonlinear Mixed Effects Models. R package version 3.1-137 [Internet]. R core team; 2018 [cited 2018 Aug 21]. Available from: https://CRAN.R-project.org/package=nlme

57. Chambers JM, Hastie T. Statistical Models in S. Wadsworth & Brooks/Cole Advanced Books & Software; 1992. 630 p.

58. Kuhn M. contrast: A Collection of Contrast Methods [Internet]. 2016. Available from: https://CRAN.R-project.org/package=contrast

59. Fergenbaum JH, Bruce S, Lou W, Hanley AJG, Greenwood C, Young TK. Obesity and Lowered Cognitive Performance in a Canadian First Nations Population. Obesity. 2009;17(10):1957–63.

60. Meo SA, Altuwaym AA, Alfallaj RM, Alduraibi KA, Alhamoudi AM, Alghamdi SM, et al. Effect of Obesity on Cognitive Function among School Adolescents: A Cross-Sectional Study. Obes Facts. 2019;12(2):150–6.

61. Prickett C, Stolwyk R, O'Brien P, Brennan L. Neuropsychological Functioning in Mid-life Treatment-Seeking Adults with Obesity: a Cross-sectional Study. Obes Surg. 2018 Feb 1;28(2):532–40.

62. de Oca BM, Black AA. Bullets versus burgers: is it threat or relevance that captures attention? Am J Psychol. 2013;126(3):287–300.

63. Junghans AF, Evers C, Ridder DTDD. Eat Me If You Can: Cognitive Mechanisms Underlying the Distance Effect. PLOS ONE. 2013 déc;8(12):e84643.

64. Nummenmaa L, Hietanen JK, Calvo MG, Hyönä J. Food Catches the Eye but Not for Everyone: A BMI–Contingent Attentional Bias in Rapid Detection of Nutriments. PLOS ONE. 2011 mai;6(5):e19215.

65. Sawada R, Sato W, Toichi M, Fushiki T. Fat Content Modulates Rapid Detection of Food: A Visual Search Study Using Fast Food and Japanese Diet. Front Psychol [Internet]. 2017 Jun 22 [cited 2019 Oct 1];8. Available from: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5479904/

66. Teslovich T, Freidl EK, Kostro K, Weigel J, Davidow JY, Riddle MC, et al. Probing behavioral responses to food: development of a food-specific go/no-go task. Psychiatry Res. 2014 Sep 30;219(1):166–70.

67. Carbine KA, Christensen E, LeCheminant JD, Bailey BW, Tucker LA, Larson MJ. Testing food-related inhibitory control to high- and low-calorie food stimuli: Electrophysiological responses to high-calorie food stimuli predict calorie and carbohydrate intake. Psychophysiology. 2017 Jul 1;54(7):982–97.

68. Frank S, Laharnar N, Kullmann S, Veit R, Canova C, Hegner YL, et al. Processing of food pictures: Influence of hunger, gender and calorie content. Brain Res. 2010 Sep 2;1350:159–66.

69. Smeets E, Roefs A, van Furth E, Jansen A. Attentional bias for body and food in eating disorders: Increased distraction, speeded detection, or both? Behav Res Ther. 2008 Feb 1;46(2):229–38.

70. Wilson C, Wallis DJ. Attentional Bias and Slowed Disengagement from Food and Threat Stimuli in Restrained Eaters Using a Modified Stroop Task. Cogn Ther Res. 2013 Feb 1;37(1):127–38.

71. Deux N, Schlarb AA, Martin F, Holtmann M, Hebebrand J, Legenbauer T. Overweight in adolescent, psychiatric inpatients: A problem of general or food-specific impulsivity? Appetite. 2017 01;112:157–66.

72. Loeber S, Grosshans M, Korucuoglu O, Vollmert C, Vollstädt-Klein S, Schneider S, et al. Impairment of inhibitory control in response to food-associated cues and attentional bias of obese participants and normal-weight controls. Int J Obes. 2012 Oct;36(10):1334–9.

73. Alonso-Alonso M, Woods SC, Pelchat M, Grigson PS, Stice E, Farooqi S, et al. Food reward system: current perspectives and future research needs. Nutr Rev. 2015 May;73(5):296–307.

74. Berridge KC, Kringelbach ML. Pleasure systems in the brain. Neuron. 2015 May 6;86(3):646–64.

75. Joyner MA, Kim S, Gearhardt AN. Investigating an Incentive-Sensitization Model of Eating Behavior: Impact of a Simulated Fast-Food Laboratory. Clin Psychol Sci. 2017 Nov 1;5(6):1014–26.

76. Leleu A. Temporal dynamics of odor integration in the visual categorization of food. 7th European Conférence on Sensory and Consumer Research (EuroSense); 2016 Sep 11; Dijon (France).

77. Posner MI. Orienting of attention. Q J Exp Psychol. 1980 Feb 1;32(1):3–25.

78. Hoffmann-Hensel SM, Sijben R, Rodriguez-Raecke R, Freiherr J. Cognitive Load Alters Neuronal Processing of Food Odors. Chem Senses. 2017 Oct 31;42(9):723–36.

79. Goldstein RZ, Volkow ND. Dysfunction of the prefrontal cortex in addiction: neuroimaging findings and clinical implications. Nat Rev Neurosci. 2011 Oct 20;12(11):652–69.

80. Goldstein RZ, Volkow ND. Drug Addiction and Its Underlying Neurobiological Basis: Neuroimaging Evidence for the Involvement of the Frontal Cortex. Am J Psychiatry. 2002 Oct;159(10):1642–52.

81. Childress AR, Ehrman RN, Wang Z, Li Y, Sciortino N, Hakun J, et al. Prelude to Passion: Limbic Activation by "Unseen" Drug and Sexual Cues. PLOS ONE. 2008 Jan 30;3(1):e1506.

82. Zhang X, Chen X, Yu Y, Sun D, Ma N, He S, et al. Masked smoking-related images modulate brain activity in smokers. Hum Brain Mapp. 2009;30(3):896–907.

83. Paas F, Renkl A, Sweller J. Cognitive Load Theory and Instructional Design: Recent Developments. Educ Psychol. 2003 Mar 1;38(1):1–4.

84. Dohle S, Diel K, Hofmann W. Executive functions and the self-regulation of eating behavior: A review. Appetite. 2018 01;124:4–9.

85. Rumiati RI, Foroni F. We are what we eat: How food is represented in our mind/brain. Psychon Bull Rev. 2016 Aug 1;23(4):1043–54.

86. Toet A, Kaneko D, de Kruijf I, Ushiama S, van Schaik MG, Brouwer A-M, et al. CROCUFID: A Cross-Cultural Food Image Database for Research on Food Elicited Affective Responses. Front Psychol [Internet]. 2019 [cited 2019 Dec 6];10. Available from: https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpsyg.2019.00058/full

87. Doolan KJ, Breslin G, Hanna D, Murphy K, Gallagher AM. Visual attention to food cues in obesity: An eye-tracking study. Obesity. 2014;22(12):2501–7.

88. Wegner DM. Ironic processes of mental control. Psychol Rev. 1994;101(1):34–52.

89. Kim TJ, Knesebeck O von dem. Income and obesity: what is the direction of the relationship? A systematic review and meta-analysis. BMJ Open [Internet]. 2018 Jan 1 [cited 2019 Dec 6];8(1). Available from: https://bmjopen.bmj.com/content/8/1/e019862

90. Amiri S, Behnezhad S. Obesity and anxiety symptoms: a systematic review and meta-analysis. neuropsychiatrie. 2019 Jun 1;33(2):72–89.

91. Sarwer DB, Polonsky HM. The Psychosocial Burden of Obesity. Endocrinol Metab Clin North Am. 2016 Sep 1;45(3):677–88.

92. Djalalinia S, Qorbani M, Peykari N, Kelishadi R. Health impacts of Obesity. Pak J Med Sci. 2015;31(1):239–42.

93. Major B, Hunger JM, Bunyan DP, Miller CT. The ironic effects of weight stigma. J Exp Soc Psychol. 2014 Mar 1;51:74–80.

94. Puhl R, Brownell KD. Bias, Discrimination, and Obesity. Obes Res. 2001;9(12):788–805.

III – 3. Points clés et conclusions

III – 3. 1. Objectif 1 : Caractériser le contrôle inhibiteur des individus face aux stimuli alimentaires à haute et faible densité énergétique.

Les individus, quel que soit leur statut pondéral, avaient un déficit de contrôle inhibiteur face aux aliments à haute densité énergétique. C'est-à-dire que le déficit de contrôle inhibiteur face aux aliments n'est pas uniquement en lien avec l'obésité, il s'agirait donc d'un processus naturel commun à tous les individus.

En situation de charge cognitive faible, tous les participants avaient de moins bonnes capacités de contrôle face aux stimuli neutres (objets) que face aux aliments à faible densité énergétique. Par contre, en situation de charge cognitive élevée, il n'y avait pas de différence entre le contrôle cognitif face aux aliments à faible densité énergétique et le contrôle cognitif face aux objets. En effet, en situation de charge cognitive, les participants faisaient plus d'erreurs face aux aliments à faible densité énergétique qu'en situation de faible charge cognitive. L'augmentation du nombre d'informations à traiter diminue l'efficacité du contrôle inhibiteur, uniquement face aux aliments.

Tous les participants avaient un contrôle inhibiteur moins efficace en situation de charge cognitive, mais uniquement face aux aliments (HDE et FDE). Ainsi, si la charge cognitive module les capacités de contrôle cognitif face aux aliments, les individus en obésité pourraient être plus vulnérables à la désinhibition face aux aliments à haute densité énergétique, car plus à même de subir cette charge au quotidien (stress, maladies, dépression, faibles revenus, discrimination, santé mentale) (Byrd-Bredbenner et al., 2016; Major et al., 2014; Sarwer & Polonsky, 2016).

III – 3. 2. Objectif 2 : Observer les effets d'amorces olfactives sur le contrôle inhibiteur face aux aliments d'individus normo-pondéraux, en surpoids et en obésité.

Aucune différence de contrôle inhibiteur n'a été observée en lien avec le statut pondéral des participants, ni en lien avec la présence d'amorces olfactives non-attentivement perçues

(quatre-quarts, poire, condition contrôle). Il ne semble donc pas possible d'impacter tous types de processus cognitifs en utilisant l'amorçage olfactif implicite.

Un effet d'amorçage lié au statut pondéral a néanmoins pu être observé sur la réactivité des participants, mesurée par les TR aux stimuli (aliments et objets confondus) : les participants en obésité étaient plus lents lorsqu'amorcés avec une odeur non attentivement perçue de quatre-quarts que sans odeur. Les participants en surpoids, quant à eux, étaient plus lents lorsqu'amorcés avec une odeur non-attentivement perçue de poire qu'avec une odeur non-attentivement perçue de quatre-quarts et que sans odeur. L'amorçage olfactif implicite a eu un effet sur la réactivité aux stimuli, *i.e.* un processus ascendant (bottom-up, processus guidés par l'environnement).

Ainsi, cet effet d'amorçage différencié selon le statut pondéral des participants sur la réactivité témoigne, comme pour les biais attentionnels, d'un effet d'amorçage sur les processus de détection de stimuli (*i.e.* processus bottom-up). Dans la présente étude, l'absence d'effet d'amorçage sur les processus majoritairement top-down (contrôle inhibiteur) semble montrer que ces effets atteignent uniquement les processus bottom-up dans le traitement de l'information.

III – 3. 3. Conclusions

Notre étude confirme une certaine vulnérabilité cognitive des personnes en surpoids et en obésité aux stimuli alimentaires (odeurs non-attentivement perçues). Les résultats montrent également que tous les individus ont tendance à réagir plus rapidement, et à manifester un plus grand déficit de contrôle inhibiteur face à des images d'aliments à haute densité énergétique, quelque soit leur statut pondéral, témoignant de processus communs face aux aliments.

CHAPITRE IV – Capacités olfactives face à des odeurs alimentaires et non-alimentaires chez des hommes et femmes de statuts pondéraux divers

IV – 1. Introduction

Dans le **chapitre I**, il a été mentionné que des différences de capacités sensorielles (goût et olfaction) pouvaient expliquer une différence de comportement alimentaire entre individus normo-pondéraux et en obésité. Malgré de nombreuses études sur le sujet, aucun consensus scientifique n'a été trouvé à ce jour. Il est important de clarifier la question des capacités olfactives des individus de statuts pondéraux différents afin de confirmer que l'effet des amorces olfactives mentionnées plus haut est bien lié à une sensibilité cognitive, et non à des capacités olfactives différentes en fonction du statut pondéral. L'article suivant porte sur une étude réalisée auprès d'hommes et de femmes normo-pondéraux, en surpoids et en obésité qui ont passé l'European Test for Olfactory Capabilities (ETOC, Thomas-Danguin et al., 2003) afin de mesurer leurs capacités olfactives.

Cette étude s'attache à mieux comprendre les différences de capacités olfactives (détection – *i.e.* la capacité à détecter les odeurs, et identification, *i.e.* la capacité à les associer à un nom) supposées, face aux odeurs alimentaires et non-alimentaires. En effet, deux courants s'opposent dans la littérature. L'un postule que les individus en obésité pourraient avoir de moins bonnes capacités olfactives, ce qui les amènerait à devoir consommer plus de nourriture pour un niveau de sensations alimentaires équivalent à celui d'individus normo-pondéraux avec des capacités olfactives normales (Peng et al., 2019). L'autre démontre que les individus en obésité auraient une sensibilité plus élevée aux odeurs alimentaires (Stafford & Whittle, 2015), de façon congruente avec la saillance des informations relatives aux substances associées à la récompense du modèle de la sensibilisation incitative (Berridge et al., 2010). Notre étude comportait ainsi deux objectifs :

CHAPITRE IV – Capacités olfactives face à des odeurs alimentaires et non-alimentaires chez des hommes et femmes de statuts pondéraux divers

- **Objectif 1 :** Mesurer les capacités olfactives globales (détection et identification) chez des hommes et femmes de statut pondéral différent.

- **Objectif 2 :** Mesurer les capacités olfactives (détection et identification) spécifiques aux odeurs alimentaires en fonction du statut pondéral.

Ce chapitre est constitué de la publication suivante :

Mas, M., Chabanet, C., Sinding, C., Thomas-Danguin, T., Brindisi, M.-C. & Chambaron, S., (*soumis à Chemical Senses*). Olfactory capacities toward food and non-food odors in male and female adults of various weight status.

IV – 2. Article: Olfactory capacities toward food and non-food odours in men and women of various weight status

Marine Mas[1*], Claire Chabanet[1], Charlotte Sindig[1], Thierry Thomas-Danguin[1], Marie-Claude Brindisi[1, 2] & Stéphanie Chambaron[1]

[1] Centre des Sciences du Goût et de l'Alimentation, AgroSup Dijon, CNRS, INRAE, Université Bourgogne Franche-Comté, Dijon, France

[2] Department of Diabetes and Clinical Nutrition, Centre Hospitalier Universitaire de Dijon, Dijon, France

Abstract

Olfaction is a sense that is closely linked to food intake and food choices in humans, but its relationship with obesity remains equivocal in the scientific literature: global olfactory capacities seem lowered in obesity compared to normal weight, but some authors observed that individuals with obesity might have a heightened sensitivity to food odours. Our objective was to evaluate olfactory capabilities for food and non-food odours by using the European Test for Olfactory Capabilities (ETOC). This test measures olfactory detection and identification capabilities. One hundred and twenty-four men and women were tested, of whom 41 individuals with normal-weight, 45 individuals with overweight and 38 individuals with obesity. Contrary to the major current in the literature, no difference between the three weight status groups were found in either detection or identification capabilities, for food as well as for non-food odours. Age decreased detection score while being male decreased identification score. A trend for better identification of non-food odours was found for overweight and obesity vs. normal-weight. We encourage further research to distinguish food and non-food odours in olfactory measurements related to weight status in order to replicate our findings on a larger set of odours. Future research should also focus on sensitivity to food odours by estimating detection thresholds and to control for confounding variables such as hormonal status, as well as individual liking of the odours.

Introduction

Olfaction is a remarkable sense that is decisive for food behaviours. Distally, it enables the localisation of foods and thus orients food choices, while proximally, it allows flavour

perception and contributes to the detection of nutrients. Global olfactory capacities can be described in terms of detection and identification. Detection is the ability to detect odorants and is often referred to as olfactory sensitivity (Sorokowski *et al.*, 2019). Identification is the ability to correctly name a smell, and it relies more on cognitive aspects, such as verbal abilities (Larsson *et al.*, 2004) and habits (Nováková, Varella Valentova and Havlíček, 2014). It is of particular interest to study olfactory capacities in obesity research for several reasons. First, according to incentive-sensitization models of eating behaviour (Robinson and Berridge, 1993; Appelhans, 2009; Berridge, 2009; Berridge *et al.*, 2010; Joyner, Kim and Gearhardt, 2017), individuals with obesity might have an increased sensitivity to stimuli that are related to reward, namely palatable foods cues, such as the sight or smell of pleasant foods. Second, exposure to food cues might increase appetite for foods that are congruent with the cue (Ramaekers *et al.*, 2014; Zoon, De Graaf and Boesveldt, 2016). This effect has been widely studied for taste and sight, but more rarely for smell (Peng *et al.*, 2019).

Several studies have found that the sense of smell of individuals with obesity was different from the sense of smell of individuals with normal-weight. On the one hand, results indicating decreased olfactory capabilities in individuals of higher weight status have been observed. Some studies showed that women with obesity have a lowered sense of smell in terms of detection (Fernández-Aranda *et al.*, 2016; Fernandez-Garcia *et al.*, 2017) and identification (Richardson *et al.*, 2004; Fernández-Aranda *et al.*, 2016; Fernandez-Garcia *et al.*, 2017) of odours compared to women with normal weight status. Olfactory thresholds (*i.e.*, the lowest concentration of a certain odour compound that is perceivable by the individual) were found to be higher in individuals with overweight and obesity than in individuals with normal weight status, indicating a lower sensitivity to odours (Skrandies and Zschieschang, 2015; Fernández-Aranda *et al.*, 2016). Moreover, studies on mice models showed that mice submitted to an obesogenic diet had a decreased olfactory discrimination ability and a reduced number of olfactory sensory neurons, even after weight loss (Thiebaud *et al.*, 2014). Decreased olfactory capacities could thus be linked with the alteration of eating behaviour and food intake in humans (Aschenbrenner *et al.*, 2008). This link between Body Mass Index (BMI) and olfaction could contribute to increased consumption of palatable food in individuals with higher weight status in order to reach a pleasant sensation that is comparable to the sensation of individuals with normal olfactory capacities (Boesveldt, 2017).

On the other hand, some studies seem to indicate that the olfactory differences between normal-weight and individual with higher weight statuses might be linked with food intake. A study showed that individuals with obesity seem to have lower olfactory thresholds to certain food odours (chocolate, Stafford and Whittle, 2015), indicating a higher sensitivity to those odours. Higher sensitivity to specific food odours might make individuals with obesity lean toward unhealthy food consumption, but those results need to be replicated. It has also been reported that, compared to normal-weight controls, individuals with higher BMI had higher sensitivity for food odours (herbs) when satiated than when in a hunger state (Stafford and Welbeck, 2011). These results emphasize the role of hunger and satiety in the perception of food odours, which remain unclear in the literature (Aschenbrenner *et al.*, 2008; Albrecht *et al.*, 2009; Ramaekers *et al.*, 2016).

In contrast, other studies failed to find olfactory capabilities differences linked to BMI or between weight status groups as categories. Those studies indicated that odour identification and detection capabilities do not seem to differ between individuals with obesity and normal-weight (Trellakis *et al.*, 2011), nor between individuals with overweight and normal-weight (Skrandies and Zschieschang, 2015). A recent study showed that BMI was not related to the olfactory detection threshold or to odour identification (Besser *et al.*, 2020).

To the best of our knowledge, previous studies conducted with large samples of participants on these topics included exclusively or mostly women. Moreover, there are only a few data on overweight individuals, and no study has compared the olfactory capacities of men and women of various weight statuses toward food vs. non-food odours. Consequently, our objective was to evaluate the olfactory capacities of men and women with normal-weight, overweight, and obesity. Based on the literature, our first hypothesis was that individuals of higher weight statuses would have lower overall olfactory capacities (detection and identification). Secondly, we hypothesized that individuals with overweight and obesity would be more efficient than normal-weight individuals in the detection and identification of food-related odours specifically. To this aim, we submitted a sample of men and women of various weight statuses to the European Test for Olfactory Capabilities (ETOC) (Thomas-Danguin *et al.*, 2003), a validated test that mixed food and non-food odours.

Material and methods

Participants

One hundred and twenty-four participants took part in our experiment. Our sample comprised 41 individuals with normal-weight (BMI $\geqslant$ 18.5 and < 25 kg/m²), 45 individuals with overweight (BMI $\geqslant$ 25 and < 30 kg/m²) and 38 individuals with obesity (BMI $\geqslant$ 30kg/m²), according to the current norms of weight status categories based on BMI (Nuttall, 2015; Komaroff, 2016). Participants were between 18 and 60 years old, with a mean age of 42.62 years (SD: 10.78). Forty-one percent of participants were men. Participants were recruited through PanelSens, a database managed by the Chemosens Platform from our research center, that complies with all applicable national data protection rules and has been vetted by the appropriate French authorities (Commission Nationale Informatique et Libertés – CNIL – 135). Participants were first contacted by e-mail and asked whether they would agree to participate in a study in our laboratory. They were asked to complete a questionnaire checking for non-inclusion criteria: chronic disease (such as diabetes, hypertension, or any type of cardiovascular disease), medical treatment that may affect mental awareness, pregnancy, anosmia, chronic sinusitis, and history of bariatric surgery. Those criteria were chosen to avoid olfactory decrease due to medical condition or medical treatment that could alter olfactory capacities. Once they were recruited, we asked participants to postpone their appointment at the laboratory if they were feeling sick, in order to avoid decreased olfactory capacities due to flu symptoms or cold. The study was conducted in accordance with the Declaration of Helsinki and was approved by an ethics committee (Comité d'Evaluation de l'Ethique de l'Inserm – CEEI, File number IRB 0000388817-417–Project number X 467). This research study adhered to all applicable institutional and governmental regulations concerning the ethical use of human volunteers.

The European Test for Olfactory Capacities (ETOC)

This study used the European Test for Olfactory Capabilities (Thomas-Danguin *et al.*, 2003), which has been validated for the evaluation of olfactory detection and identification capabilities in European adults. The ETOC consists of 16 blocks (identified by numbers) of 4 vials (identified by letters) with only one being odorized whilst others contain solvent only (cf. Thomas-Danguin *et al.*, 2003 for more details). The test is based on a four Alternative-Forced

Choice procedure, so participants have to smell the vials block per block. Within each block, participants had to detect which vial, out of four, contained an odour (*detection task*), and then, to identify the odour in the selected vial by selecting one of the 4 odour names proposed for a given block (*identification task*). Answers were collected on a dedicated answer sheet. The test is based on 16 odours: 10 are well-known food-related odours (vanilla, apple, cinnamon, garlic, anise, orange, fish, thyme, lemon, and mint), and 6 can be considered as non-food related odours (cloves, eucalyptus, fuel-oil, pine, cut-grass, rose).

The test gives two distinct scores: a *detection score* (out of 16) and an *identification score* (out of 16). The identification can be correct only if the detection is also correct. In order to test our second hypothesis and to capture detection and identification capabilities for these two categories of odours, we separated scores for food-related odours (vanilla, apple, cinnamon, garlic, anise, orange, fish, thyme, lemon, and mint), and scores for non-food odours (cloves, eucalyptus, fuel oil, pine, cut grass, rose).

Session

Participants were asked to come to the laboratory for a session, which was scheduled at 12 p.m. and lasted about 20 minutes, to perform ETOC measurements. Participants were asked to refrain from eating, drinking anything except water, and smoking for 3 hours before the session. This procedure was requested in order to maintain participants in the most odour-neutral conditions and to control their hunger level. Moreover, participants were asked to avoid wearing scented cosmetics like perfume or deodorant, in order to avoid parasite smells during the test. Each session comprised 2 to 6 participants at a time. They were seated in individual testing boxes, with a minimum distance of 1.50 meters between participants. The hunger level was assessed for each participant on a 10-point Visual Analog Scale (VAS) before the ETOC. Experimenters gave oral instructions to each participant before they began the test, as well as a written instruction sheet and a response sheet. Experimenters ensured that the instructions were clear for each participant and encouraged them to ask questions by raising the hand if they had any questions about the procedure at any time during the session. When participants indicated that they had finished the test, they were asked to go to another room where an experimenter measured and weighed them individually (in light clothing) to calculate their BMI in kg/m^2.

Data preparation

To analyse data from the ETOC, we separated the scores for food-related odours (vanilla, apple, cinnamon, garlic, anise, orange, fish, thyme, lemon, and mint), and scores for non-food odours (cloves, eucalyptus, fuel oil, pine, cut grass, rose). To complete our examination, post hoc analysis were performed to measure olfactory capacities toward a subgroup of food odours that are often encountered in sweet desserts and which might cue for energy-dense foods, namely vanilla, apple, cinnamon, and orange odours. We examined whether individuals with higher weight status were better at detecting and identifying those odours by creating binary variables for the detection and identification of each of these four odorants.

Statistical Analysis

To assess differences between the three experimental groups (normal-weight, overweight, and obesity), ANOVA was performed for continuous variables (age, BMI, hunger level), and Chi 2 tests were used for categorical variables (sex, smoker status). Statistical analysis was performed with R.3.4.3 software (R Development Core Team, 2008). The significance threshold was set at 0.05. To measure differences between food and non-food odours, we considered four scores (detection of food odours, detection of non-food odours, identification of food odours, identification of non-food odours), in addition to the global detection and global identification scores derived from the ETOC (/16). We separated the scores for the detection and identification of food (/10) and non-food odours (/6).

Linear models were used to evaluate the effects of age, sex, weight status, and hunger levels on detection and identification scores for all the odours, but also for food odours on the one hand and non-food odours on the other hand. The initial model for each score of detection and identification involved four terms: age, sex, weight status, and hunger level, and all interactions (age * sex * weight status * hunger level). In the final model, the non-significant terms were removed.

In order to assess the detection and identification capacities for specific energy-dense cues (vanilla, cinnamon, orange, and apple separately), generalized linear models were estimated by

considering the binomial variables "detection" and "identification" for each odour as a dependent variable and age, sex, weight status and hunger level as covariates.

Results

No differences were found between the normal weight, overweight, and obesity groups in terms of age, sex, hunger level, and smoker status. Participants' characteristics are detailed in Table 1.

Table 1. Participants' characteristics. Mean (SD) are represented for continuous variables. * p <.05

	Normal weight (n=41)	Overweight (n=45)	Obesity (n=38)	p-value
Age	43.66 (11.06)	43.31 (9.11)	40.71 (12.26)	0.42
BMI	22.00 (1.76)	27.33 (1.42)	36.03 (5.16)	<.001*
Sex (F/M)	26/25	22/23	24/14	0.29
Hunger level	6.47 (2.75)	6.10 (2.81)	5.72 (2.75)	0.49
Smoker status				0.09
Current smoker	1	4	7	
Past smoker	11	17	9	
Never smoked	29	24	22	

Detection scores

For all models concerning detection scores (global, food odours and non-food odours), only the effect of age was significant. For global detection scores, the detection score decreased by 0.25% per additional year of age ($F_{(1, 122)}$=6.90, p=0.02). Concerning food odours, the detection score decreased by 0.2% per additional year of age ($F_{(1, 122)}$=8.69, p=0.004). Finally, for non-food odours, the detection score decreased by 0.03% per additional year of age ($F_{(1,122)}$=4.60, p=0.03). Contrary to our hypotheses, no significant effect was found for weight status on

detection scores, whatever the odour category [*food odours*: $F_{(2,118)}$=0.41 p=0.66 ; *non-food odours:* $F_{(2,118)}$=0.16, p=0.85 ; *global :* $F_{(2, 118)}$=0.34, p=0.71].

Identification scores

The effect of age and the effect of sex were significant on all identification measurements. For global identification ($F_{(1, 121)}$=14.61, p<0.001), the score decreased by 0.07 per additional year of age. Women had, on average, higher scores than men ($F_{(1,121)}$=8.05, p=0.005; women vs. men=+1.31, SD=0.46). Concerning the effect of age on the identification of food odours, the score decreased by 0.05 per additional year of age ($F_{(1, 121)}$=12.94, p<.001). Women had higher scores than men ($F_{(1,121)}$=4.11, p=0.04 ; women vs. men=+0.59, SD=0.29).

After non-significant terms were removed from a model with principal effects of the variables age, sex, weight status and hunger level, only age ($F_{(1,119)}$=5.76, p=0.02) and sex ($F_{(1,119)}$=13.75, p<.001) remained significant. The identification score for non-food odours decreased by 0.02 per year of age and was higher in women (women vs. men=0.78, SD=0.21). Interestingly, the effect of weight status on non-food odours identification was marginally significant ($F_{(2, 119)}$=2.99, p=0.05). Participants with overweight (mean: +0.69, SD=0.25, p=0.005) and obesity (+0.45, SD 0.26, p=0.07) tended to have higher identification scores for non-food odours than the normal-weight group. This result is not in line with our hypothesis since we expected that participants with overweight and participants with obesity would have higher olfactory capabilities for food odours, but not for non-food ones. All data are reported in Table 2.

Table 2. Effects of age and sex on ETOC detection and identification scores, for global score, food score and non-food score. *p<0.05

	Variable	Estimate	SD	p-value
ETOC detection scores				
Global	age	-0.04	0.015	0.01*
Food	age	-0.02	0.008	0.004*
Non-food	age	-0.02	0.008	0.03*
ETOC identification scores				
Global	age	-0.07	0.02	<.001*
	sex (M vs. F)	-1.31	0.46	0.005*
Food	age	-0.045	0.01	0.001*
	sex (M vs. F)	-0.59	0.29	0.045*

Non-food	age	-0.018	0.01	0.06
	sex (M vs. F)	-0.77	0.21	<.001*

Results for specific energy-dense cues

For the exploratory analysis of specific food-related odours that might cue for high-energy dense foods (vanilla, cinnamon, orange, and apple), we aimed at assessing whether individuals were more prone to detect and identify each odour according to weight status. No statistical differences were observed, meaning that individuals with normal weight, overweight, and obesity did not have different olfactory capabilities for sweet energy-dense food cues, contrary to our hypotheses. However, a marginally significant contrast is to be noted: participants with overweight were more likely to correctly identify vanilla than participants with normal weight (p=0.05). The results are shown in Table 3.

Table 3 – Percentage of incorrect detections and identifications of energy-dense food cues as a function of weight status group. The significance threshold was set at p=0.05.

Odour	Task	Normal-Weight (n=41)	Overweight (n=45)	Obesity (n=38)	p-value (weight status)
Vanilla	Detection	0	2.2	2.6	0.47
	Identification	34.1	17.8	23.6	0.14
Cinnamon	Detection	0	2.2	0	0.33
	Identification	14.6	11.1	7.9	0.72
Orange	Detection	9.8	11.1	5.3	0.49
	Identification	12.2	11.1	5.3	0.85
Apple	Detection	2.4	0	5.3	0.23
	Identification	43.9	46.7	31.6	0.51

The effect of age on apple identification was significant (p=0.006), with younger individuals more likely to correctly identify apple (-0.04 per additional year of age).

Discussion

Our objective was to evaluate olfactory capacities (detection and identification) of men and women with normal-weight, overweight, and obesity by comparing their olfactory capacities for food vs. non-food odours. Our results show that there are no weight-status-related differences in olfactory capacity relative to the detection and identification of food odours, nor in overall odour detection and identification capabilities.

Sex differences

Our results show that the identification capacities of men and women are different. Women had higher scores, reflecting that they were better able to identify food and non-food odours. This result was previously observed in several other studies (for a review, see Sorokowski *et al.*, 2019). Women may have higher identification capacities because such capacities rely on cognitive aspects such as verbal memory, verbal fluency, and semantic knowledge and women perform better in these areas (Larsson *et al.*, 2004; Sorokowski *et al.*, 2019). These results have also been observed in children (Monnery-Patris *et al.*, 2009), but vanished when the effect of sex was corrected for verbal performance, suggesting that the better identification of odours in girls might only be due to superior verbal performance (Monnery-Patris *et al.*, 2009).

Influence of age

We found that detection and identification of odours were influenced by age. This result is congruent with the literature, considering that aging has been linked with olfactory performance decline (Thomas-Danguin *et al.*, 2003; Arikawa *et al.*, 2020). The effects of aging are different from one individual to another, and factors such as poor health status and medication use appear to modulate olfactory performance in older adults (Sulmont-Rossé *et al.*, 2015; Kondo *et al.*, 2020). Several studies showed that olfactory decline involved in the poor perception of food flavour can lead to changes in eating behaviour in elderly people (Duffy, Backstrand and Ferris, 1995; Schiffman, 2000). However, in 2006, Simchen et al. showed that higher BMI had a protective effect on olfactory capacities in 65 years and older adults (Simchen *et al.*, 2006). In their study, individuals younger than 65 years old with lower BMI (< 28kg/m²) had better olfactory capacities (detection and identification) than individuals with overweight or obesity

(BMI > 28kg/m²) in the same age group. This relationship was reversed after the age of 65 and individuals with overweight or obesity (BMI > 28kg/m²) had better olfactory performances. In the present study, no interaction between age and weight status was observed in terms of olfactory capabilities, which may be explained by the fact that participants were younger than 60 years old in our studied set.

Weight status

Contrary to our hypotheses, no difference in olfactory capabilities toward food odours related to weight status was found. Consequently, such a result adds to the literature indicating that when health parameters are controlled, weight status does not influence olfactory performance. Rather than weight status, a relationship with the diet should be investigated. Indeed, having a western diet (high in fat, sugar, salt and low in fibers) might lead to overweight and obesity, but also modulate olfactory perception. The usual consumption of few foods with volatile contents (*i.e.* fruits and vegetables) and a high proportion of fat in the diet has been linked to a weaker perception of oral olfactory cues. This can lead to different experiences with food in general and induce different olfactory abilities toward foods (Stevenson *et al.*, 2016). Individuals with overweight/obesity might have different dietary patterns that can not be summarized by taking only weight status into account. This hypothesis could explain the absence of significant results in our study, and constitute an interesting path for future research looking to disentangle the relationship between olfaction, food consumption and weight status.

For the identification of non-food odours, a marginally significant effect was found for weight status, indicating that individuals with higher weight statuses might have a higher identification capacity for non-food odours. Even if not statistically significant, this result can be surprising. Indeed, the few studies on olfactory capacities for food odours and weight status reported that individuals with obesity had better detection abilities (in terms of odour detection threshold) for food odours (Stafford and Welbeck, 2011; Stafford and Whittle, 2015). Such a relationship between odour detection performance and weight status was not replicated in our study with the major difference that our detection task was based on supraliminar detection and not on detection threshold. One recent study (Nettore *et al.*, 2020) showed that individuals with obesity had higher identification abilities for orally delivered food odours rather than olfactory

orthonasal perception as in our study. In contrast, we did not observe better identification scores for food odours in participants with obesity throughout out study, which suggests a different impact of retronasal and orthonasal perception of food odours on identification capabilities and in turn differences concerning distal and proximal reactions to food odour according to weight status. To our knowledge, the present study is the first to document the identification of food odours in individuals with various weight statuses by also assessing the identification of non-food odours in the same experimental design.

Specific detection of food odours

In post hoc analysis, no differences were observed for the specific detection or identification of high energy-dense food cues, except for a tendency of better identification of vanilla in individuals with overweight (but not with obesity) that needs to be confirmed on a larger sample. In 2015, Stafford et al. measured preference and sensitivity to a chocolate odour in participants with obesity by using threshold measurements and showed that individuals with obesity had higher preferences for chocolate as well as increased sensitivity (*i.e.* lower detection threshold) to this odour (Stafford and Whittle, 2015). There are two major differences between this experiment and our study. First, the absence of significant results in our study might result from the supraliminal concentrations of odorants in the ETOC: the ETOC consists in a supra-threshold detection task, while Stafford et al. used detection threshold measurements, which are two different tasks. Secondly, the ETOC used pleasant and unpleasant odours while Stafford et al. used only one pleasant odour. Chocolate is a highly palatable food that is often linked to pleasure, both as an ingredient (in cakes, pastries and sweets), and as a food (snack, dessert). The palatability and the pleasantness of the chocolate odour used in Stafford et al.'s work might activate hippocampal mechanisms related to memory and consumption context. Indeed, in 2010, Bragulat et al. (Bragulat *et al.*, 2010) , used functional imagery to assess brain activity in individuals with obesity and normal weight exposed to preferred food odours (fat or sweet food odours) vs. nonappetitive odours. They observed that brain activity in an odour perception task was different between individuals with obesity and with normal-weight: for individuals with obesity, activity in the hippocampal/parahippocampal gyrus was higher for preferred food odours vs. non-food odours, compared to normal-weight individuals (Bragulat *et al.*, 2010). Sensitivity to food odours could be then related to the pleasantness of the odour that is due to

previous hedonic experiences with it rather than the general properties of the actual food (low vs. high energy density). In line with Stafford et al.'s results (Stafford and Whittle, 2015), the sweet food odours from the ETOC might have not been pleasant or familiar enough to trigger higher sensitivity in the obesity group from our sample. A trend for higher identification of the vanilla odorant by individuals with overweight encourages us to further investigate olfactory capabilities for food odours in individuals with various weight statuses. Indeed, vanilla odour (vanillin) might be a good candidate as it is a pleasant sweet-congruent food odour (Koubaa and Eleuch, 2020), and its inhalation has been shown to increase food intake in mice, suggesting that vanilla might activate some mechanisms tied to appetite regulation (Ogawa *et al.*, 2018).

Hunger level

Finally, the hunger level of our participants did not influence their olfactory performance. Moreover, the studies looking at the relationship between hunger, satiety, and olfactory sensitivity have failed to find a clear explanation (Albrecht *et al.*, 2009; Stafford and Welbeck, 2011; Ramaekers *et al.*, 2016). Some hormonal changes linked to specific conditions of obesity and related to food intake might be worth taking into account. Indeed, Fernandez-Aranda et al. (Fernández-Aranda *et al.*, 2016) observed that circulating levels of ghrelin (the hormone increasing food intake) were negatively correlated with olfactory capacities and with BMI. Also, Fernandez-Garcia found that identification, detection, and olfactory thresholds were correlated with the percentage of visceral fat mass (Fernandez-Garcia *et al.*, 2017). Individuals with various BMIs may have different proportions of visceral fat, and hormonal effects linked to the percentage of visceral fat mass might explain better the decreased olfactory performance in individuals with higher weight statuses than weight status alone. It would be interesting to replicate our study, but with the addition of hunger/satiety conditions within weight status groups, and the measurement of visceral fat mass.

Strengths and limitations

One of the strengths of our study is that data were collected on women and men participants of various weight statuses, which is quite rare in the domain of olfactory capabilities research. Moreover, height and weight were measured by an experimenter during the session at the laboratory, which ensures the reliability of the Body Mass Index and consequently, of the

weight status categorization. Contrary to several previous studies, hunger level was measured before testing, and we avoided the inclusion of participants with medical diseases or taking medications that could have modified their olfactory capacities. Participants were mostly non-smokers at the time of the experiment and smoking status was not statistically differently distributed between our three experimental groups. Actual smokers were mostly mild smokers (less than 9 cigarettes a day, indicating a moderate impact of smoking on smell (Vennemann, Hummel and Berger, 2008), data not shown) and we requested them to avoid smoking at least 3 hours before the session.

Our study presents some limits. First, we did not include eucalyptus and rose as food odours as they are not culturally considered as typical food items in French culture. We also considered cloves as a non-food odour, non-users of clove as a spice are less likely to correctly identify it in a food context (Knaapila *et al.*, 2017). Also, the clove odour can be associated with medical care as eugenol (or 'clove oil') is often used as a local anaesthetics by dentists (Milind and Deepa, 2011). Finally, our results for olfactory detection have been shown on a supra-threshold detection task (Thomas-Danguin *et al.*, 2003). Even if the detection scores might reflect some degree of sensitivity, it is not a measure of absolute sensitivity as are detection threshold measurements. Olfactory threshold measurements (for example, with an olfactometer) would have been a more precise way to capture variability in absolute sensitivity in relation to weight status. Indeed, studies using threshold measurements have often revealed differences between individuals of various weight statuses (Skrandies and Zschieschang, 2015; Fernandez-Garcia *et al.*, 2017). However, such studies have been conducted on samples comprising mostly women, with a lack of control of the course of their menstrual cycle. This variable has been widely proven to be a strong modulator of olfactory thresholds. Several studies have indeed shown that the olfactory threshold is significantly different between the fertile and non-fertile phases of the menstrual cycle, and especially concerning food odours detection (for a review, see (Nováková, Havlíček and Roberts, 2014)). These results, combined with those found by Fernandez-Garcia and Fenrandez-Aranda suggest that hormonal status has an important role in olfaction (Fernández-Aranda *et al.*, 2016; Fernandez-Garcia *et al.*, 2017). It would be of great interest to conduct further research to evaluate olfactory capacities in a sample comprising an equal proportion of men and women (controlling for the course of the menstrual cycle), of various

weight statuses (normal-weight, overweight and obesity, as well as massive obesity – BMI ⩾ 40kg/m²).

Conclusion and perspectives

Our results provide further evidence that olfactory identification and detection are similar among the weight status spectrum. We do not exclude the hypothesis that a decrease in olfactory capacities may be linked to some form of obesity, but if so, it might be more related to higher absolute sensitivity than to detection or identification capacities. Indeed, results from the most controlled studies (sex ratio, sample size, comorbidities, etc.) of the literature suggesting that individuals with obesity have a lowered sense of smell were based on odour detection threshold measurements. Concerning food odours, our results show that individuals with normal weight, overweight, and obesity tend to have similar olfactory capacities toward food and non-food odours, regardless of their hunger state. We propose that previously observed heightened sensitivity in individuals with higher weight statuses might be linked to cognitive processing of the smells (pleasantness, previous experiences) of the odours rather than to the "food" aspect. Also, hormonal changes seem to play a role in the olfactory capacities of individuals with obesity. It would be interesting to conduct additional studies regarding the olfactory capacities of individuals with obesity, especially taking into account individual characteristics that can affect olfactory capacities, such as the percentage of visceral fat and the hormonal status of ghrelin and leptin, as well as the course of the menstrual cycle. Because olfactory capacities seem to rely on memory and context for individuals, an investigation of cognitive factors (familiarity, pleasantness) underlying this effect for food odours should be pursued concerning weight status. Our study also hinted at differences in the identification of non-food odours, so we think that there is a need for further research on differentiation of food and non-food odours in the study of olfactory capacities.

Acknowledgments

We would like to thank the Chemosens platform of the Center for Taste and Feeding Behaviour for their help in recruiting participants, as well as for the preparation of the ETOC. We also

thank Maya Filhon for her technical help during experimental sessions, and Suzanne Rankin for English proofreading.

References

Albrecht, J. *et al.* (2009) 'Olfactory detection thresholds and pleasantness of a food-related and a non-food odour in hunger and satiety.', *Rhinology*, 47(2), pp. 160–165.

Appelhans, B. M. (2009) 'Neurobehavioral Inhibition of Reward-driven Feeding: Implications for Dieting and Obesity', *Obesity*, 17(4), pp. 640–647. doi: 10.1038/oby.2008.638.

Arikawa, E. *et al.* (2020) 'Influence of Olfactory Function on Appetite and Nutritional Status in the Elderly Requiring Nursing Care', *The journal of nutrition, health & aging*, 24(4), pp. 398–403. doi: 10.1007/s12603-020-1334-3.

Aschenbrenner, K. *et al.* (2008) 'The Influence of Olfactory Loss on Dietary Behaviors', *The Laryngoscope*, 118(1), pp. 135–144. doi: 10.1097/MLG.0b013e318155a4b9.

Berridge, K. C. (2009) '"Liking" and "wanting" food rewards: Brain substrates and roles in eating disorders', *Physiology & Behavior*, 97(5), pp. 537–550. doi: 10.1016/j.physbeh.2009.02.044.

Berridge, K. C. *et al.* (2010) 'The tempted brain eats: Pleasure and desire circuits in obesity and eating disorders', *Brain research*, 1350, pp. 43–64. doi: 10.1016/j.brainres.2010.04.003.

Besser, G. *et al.* (2020) 'Body-Mass-Index Associated Differences in Ortho- and Retronasal Olfactory Function and the Individual Significance of Olfaction in Health and Disease', *Journal of Clinical Medicine*, 9(2), p. 366. doi: 10.3390/jcm9020366.

Boesveldt, S. (2017) 'Olfaction and Eating Behavior', in Buettner, A. (ed.) *Springer Handbook of Odor*. Springer International Publishing (Springer Handbooks), pp. 109–110. Available at: https://www.springer.com/gp/book/9783319269306 (Accessed: 25 July 2020).

Bragulat, V. *et al.* (2010) 'Food-Related Odor Probes of Brain Reward Circuits During Hunger: A Pilot fMRI Study', *Obesity*, 18(8), pp. 1566–1571. doi: 10.1038/oby.2010.57.

Duffy, V. B., Backstrand, J. R. and Ferris, A. M. (1995) 'Olfactory Dysfunction and Related Nutritional Risk in Free-Living, Elderly Women', *Journal of the American Dietetic Association*, 95(8), pp. 879–884. doi: 10.1016/S0002-8223(95)00244-8.

Fernández-Aranda, F. *et al.* (2016) 'Smell–taste dysfunctions in extreme weight/eating conditions: analysis of hormonal and psychological interactions', *Endocrine*, 51(2), pp. 256–267. doi: 10.1007/s12020-015-0684-9.

Fernandez-Garcia, J. C. *et al.* (2017) 'An increase in visceral fat is associated with a decrease in the taste and olfactory capacity', *PLOS ONE*, 12(2), p. e0171204. doi: 10.1371/journal.pone.0171204.

Joyner, M. A., Kim, S. and Gearhardt, A. N. (2017) 'Investigating an Incentive-Sensitization Model of Eating Behavior: Impact of a Simulated Fast-Food Laboratory', *Clinical Psychological Science*, 5(6), pp. 1014–1026. doi: 10.1177/2167702617718828.

Knaapila, A. *et al.* (2017) 'Pleasantness, familiarity, and identification of spice odors are interrelated and enhanced by consumption of herbs and food neophilia', *Appetite*, 109, pp. 190–200. doi: 10.1016/j.appet.2016.11.025.

Komaroff, M. (2016) *For Researchers on Obesity: Historical Review of Extra Body Weight Definitions*, *Journal of Obesity*. doi: 10.1155/2016/2460285.

Kondo, K. *et al.* (2020) 'Age-Related Olfactory Dysfunction: Epidemiology, Pathophysiology, and Clinical Management', *Frontiers in Aging Neuroscience*, 12. doi: 10.3389/fnagi.2020.00208.

Koubaa, Y. and Eleuch, A. (2020) 'Gender effects on odor-induced taste enhancement and subsequent food consumption', *Journal of Consumer Marketing*. doi: 10.1108/JCM-02-2019-3091.

Larsson, M. *et al.* (2004) 'Demographic and Cognitive Predictors of Cued Odor Identification: Evidence from a Population-based Study', *Chemical Senses*, 29(6), pp. 547–554. doi: 10.1093/chemse/bjh059.

Milind, P. and Deepa, K. (2011) 'Clove: a champion spice.', *International Journal of Research in Ayurveda and Pharmacy (IJRAP)*, 2(1), pp. 47–54.

Monnery-Patris, S. *et al.* (2009) 'Development of olfactory ability in children: Sensitivity and identification', *Developmental Psychobiology*, 51(3), pp. 268–276. doi: 10.1002/dev.20363.

Nettore, I. C. *et al.* (2020) 'Flavor identification inversely correlates with body mass index (BMI)', *Nutrition, Metabolism and Cardiovascular Diseases*, 30(8), pp. 1299–1305. doi: 10.1016/j.numecd.2020.04.005.

Nováková, L. M., Havlíček, J. and Roberts, S. C. (2014) 'Olfactory processing and odor specificity: a meta-analysis of menstrual cycle variation in olfactory sensitivity', *Anthropological Review*, 77(3), pp. 331–345. doi: 10.2478/anre-2014-0024.

Nováková, L., Varella Valentova, J. and Havlíček, J. (2014) 'Engagement in Olfaction-Related Activities is Associated with the Ability of Odor Identification and Odor Awareness', *Chemosensory Perception*, 7(2), pp. 56–67. doi: 10.1007/s12078-014-9167-2.

Nuttall, F. Q. (2015) 'Body Mass Index', *Nutrition Today*, 50(3), pp. 117–128. doi: 10.1097/NT.0000000000000092.

Ogawa, K. *et al.* (2018) 'Appetite-enhancing effects of vanilla flavours such as vanillin', *Journal of Natural Medicines*, 72(3), pp. 798–802. doi: 10.1007/s11418-018-1206-x.

Peng, M. *et al.* (2019) 'Systematic review of olfactory shifts related to obesity', *Obesity Reviews*, 20(2), pp. 325–338. doi: 10.1111/obr.12800.

R Development Core Team (2008) *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing. Available at: http://www.r-project.org%7D%2C/.

Ramaekers, M. G. *et al.* (2014) 'Odors: appetizing or satiating? Development of appetite during odor exposure over time', *International Journal of Obesity*, 38(5), pp. 650–656. doi: 10.1038/ijo.2013.143.

Ramaekers, M. G. *et al.* (2016) 'Metabolic and Sensory Influences on Odor Sensitivity in Humans', *Chemical Senses*, 41(2), pp. 163–168. doi: 10.1093/chemse/bjv068.

Richardson, B. E. *et al.* (2004) 'Altered Olfactory Acuity in the Morbidly Obese', *Obesity Surgery*, 14(7), pp. 967–969. doi: 10.1381/0960892041719617.

Robinson, T. E. and Berridge, K. C. (1993) 'The neural basis of drug craving: an incentive-sensitization theory of addiction', *Brain Research. Brain Research Reviews*, 18(3), pp. 247–291.

Schiffman, S. S. (2000) 'Intensification of Sensory Properties of Foods for the Elderly', *The Journal of Nutrition*, 130(4), pp. 927S-930S. doi: 10.1093/jn/130.4.927S.

Simchen, U. *et al.* (2006) 'Odour and taste sensitivity is associated with body weight and extent of misreporting of body weight', *European Journal of Clinical Nutrition*, 60(6), pp. 698–705. doi: 10.1038/sj.ejcn.1602371.

Skrandies, W. and Zschieschang, R. (2015) 'Olfactory and gustatory functions and its relation to body weight', *Physiology & Behavior*, 142, pp. 1–4. doi: 10.1016/j.physbeh.2015.01.024.

Sorokowski, P. *et al.* (2019) 'Sex Differences in Human Olfaction: A Meta-Analysis', *Frontiers in Psychology*, 10. doi: 10.3389/fpsyg.2019.00242.

Stafford, L. D. and Welbeck, K. (2011) 'High Hunger State Increases Olfactory Sensitivity to Neutral but Not Food Odors', *Chemical Senses*, 36(2), pp. 189–198. doi: 10.1093/chemse/bjq114.

Stafford, L. D. and Whittle, A. (2015) 'Obese Individuals Have Higher Preference and Sensitivity to Odor of Chocolate', *Chemical Senses*, 40(4), pp. 279–284. doi: 10.1093/chemse/bjv007.

Stevenson, R. J. *et al.* (2016) 'Chemosensory Abilities in Consumers of a Western-Style Diet', *Chemical Senses*, 41(6), pp. 505–513. doi: 10.1093/chemse/bjw053.

Sulmont-Rossé, C. *et al.* (2015) 'Evidence for Different Patterns of Chemosensory Alterations in the Elderly Population: Impact of Age Versus Dependency', *Chemical Senses*, 40(3), pp. 153–164. doi: 10.1093/chemse/bju112.

Thiebaud, N. *et al.* (2014) 'Hyperlipidemic Diet Causes Loss of Olfactory Sensory Neurons, Reduces Olfactory Discrimination, and Disrupts Odor-Reversal Learning', *Journal of Neuroscience*, 34(20), pp. 6970–6984. doi: 10.1523/JNEUROSCI.3366-13.2014.

Thomas-Danguin, T. *et al.* (2003) 'Development of the ETOC: a European test of olfactory capabilities.', *Rhinology*, 41(3), pp. 142–151.

Trellakis, S. *et al.* (2011) 'Ghrelin, leptin and adiponectin as possible predictors of the hedonic value of odors', *Regulatory Peptides*, 167(1), pp. 112–117. doi: 10.1016/j.regpep.2010.12.005.

Vennemann, M. M., Hummel, T. and Berger, K. (2008) 'The association between smoking and smell and taste impairment in the general population', *Journal of Neurology*, 255(8), pp. 1121–1126. doi: 10.1007/s00415-008-0807-9.

Zoon, H. F. A., De Graaf, C. and Boesveldt, S. (2016) 'Food Odours Direct Specific Appetite', *Foods*, 5(1), p. 12. doi: 10.3390/foods5010012.

IV – 2. Points clés et conclusions :

- **Objectif 1 :** Mesurer les capacités olfactives globales (détection et identification) chez des hommes et femmes de statuts pondéraux différents.

Dans des conditions expérimentales contrôlées avec l'ETOC, aucune différence de capacités olfactives (détection et identification) entre les individus normo-pondéraux, en surpoids et en obésité n'a été mesurée. Conformément à ce qui se retrouve dans la littérature, plus les participants sont âgés, plus leurs capacités olfactives (détection et identification) sont faibles.

Les femmes ont de meilleures capacités d'identification des odeurs. Cela peut s'expliquer par des différences de capacités cognitives : le traitement cognitif de l'odeur serait plus performant chez les femmes que chez les hommes car celles-ci ont de meilleures capacités verbales.

- **Objectif 2 :** Mesurer les capacités olfactives (détection et identification) spécifiques aux odeurs alimentaires en fonction du statut pondéral.

Aucune différence de capacités olfactives relatives aux odeurs alimentaires n'a été observée en lien avec le statut pondéral. Nous avons néanmoins observé une tendance en faveur d'une meilleure identification des odeurs non-alimentaires pour les individus en surpoids et en obésité, mais ces résultats nécessitent d'être répliqués.

Conclusions

L'absence de différence de capacités olfactives entre les individus normo-pondéraux, en surpoids, et en obésité témoigne du fait que les effets d'amorçage observés en **chapitres II et III** sont dûs à une sensibilité cognitive (activation de représentations mentales par les odeurs non-attentivement perçues), et non à une sensibilité olfactive.

CHAPITRE V – Inhibition, flexibilité comportementale, Indice de Masse Corporelle et statut pondéral

V – 1. Introduction

Dans le chapitre précédent, nous avons observé que les participants normo-pondéraux, en surpoids et en obésité semblaient avoir des capacités olfactives similaires. Néanmoins, le résultat concernant de meilleures performances d'identification pour les femmes attire notre attention sur le fait que les capacités cognitives ont un rôle à jouer dans le traitement de l'information olfactive. Ainsi, des différences de capacités cognitives pré-existantes chez les individus de statut pondéral différent pourraient également expliquer des différences de traitement de l'information alimentaire amenant à des comportements alimentaires différents et potentiellement obésogènes. Certains auteurs ont observé que plus le statut pondéral des individus était élevé, moins leurs capacités cognitives étaient efficaces (voir **figure 5, chapitre I**), mais le niveau de preuve pour appuyer un tel résultat est faible (Prickett et al., 2015, 2018). De nouvelles investigations prenant en compte des variables confondantes (présence d'un trouble du comportement alimentaire, comorbidités physiques ou psychologiques altérant les fonctions cognitives) sont nécessaires afin d'établir un lien direct entre l'excès pondéral et des capacités cognitives moins élevées.

De plus faibles capacités cognitives, notamment au niveau des fonctions exécutives (définition en **chapitre I, section 2. 2. 5**) pourraient amener les individus à faire face à plus de difficultés pour autoréguler leur comportement dans la vie quotidienne. Afin de mieux comprendre ce phénomène et de compléter la littérature par une étude portant sur des individus de tous statuts pondéraux, nous avons mesuré certains aspects de leurs fonctions exécutives (**inhibition** et **flexibilité**) en utilisant la batterie informatisée de tests TAP (Test of Attentional Performance, Zimmermann & Fimm, 2010) issue de la neuropsychologie. Cette manière de tester les individus est pertinente car elle est standardisée et rapide : cela permet donc une évaluation brève des fonctions exécutives, faisable en pratique clinique (Groupe de réflexion sur l'evaluation des fonctions exécutives (GREFEX), 2001). Pour évaluer l'inhibition nous avons

utilisé le subtest « *Go/no-Go* » issu de la TAP. Ici, deux stimuli pouvaient apparaitre au milieu d'un écran d'ordinateur. Les participants recevaient la consigne de détecter le plus vite possible le stimulus cible 'x', et d'ignorer les stimuli distracteurs '+' qui apparaissaient. Pour évaluer la flexibilité comportementale, nous avons utilisé le subtest « *flexibilité* » issu de la TAP. Ici, deux formes (une arrondie et l'autre angulaire) pouvaient apparaitre simultanément sur l'écran de l'ordinateur, l'une à droite, l'autre à gauche d'une manière aléatoire. Deux boutons étaient utilisés pour désigner soit le côté droit, soit le côté gauche de l'écran. Les sujets devaient presser sur l'un ou l'autre des boutons pour indiquer de quel côté se trouvait la forme arrondie avec leur main dominante.

L'objectif de cette étude était de comparer les performances en termes d'inhibition et de flexibilité comportementale en fonction du statut pondéral et de l'Indice de Masse Corporelle des participants.

Ce chapitre est constitué de la publication suivante :

Mas, M., Chambaron, S., Chabanet, C., Brindisi, M.-C. (*en préparation pour soumission envisagée à Nutrition Clinique et Métabolisme*). Inhibition and shifting across the weight status spectrum.

V – 2. Article: Inhibition and shifting across the weight status spectrum.

Marine MAS[(1)], Stéphanie CHAMBARON[(1)], Claire CHABANET[(1)], Marie-Claude BRINDISI[(1, 2)]

[(1)] Centre des Sciences du Goût et de l'Alimentation, AgroSup Dijon, CNRS, INRAE, Université Bourgogne Franche-Comté, Dijon, France
[(2)] Department of Diabetes and Clinical Nutrition, Centre Hospitalier Universitaire de Dijon, Dijon, France

Abstract

Objective: The role of executive functioning is of major interest in the study of cognitive factors involved in obesity. Shifting is related to behavioural flexibility, and inhibition to the ability to refrain impulsive behaviour. A deficit in those two functions could predict individual difficulties to reach and maintain a healthy lifestyle. Weak evidence of deficits in shifting and inhibition in individuals of higher Body Mass Index (BMI) have been observed. The objective was to clarify the relationship between inhibition and shifting regarding weight status group differences as well as BMI, in healthy adults.

Methods: Two neuropsychological tests from the Test of Attentional Performance (TAP) battery were used. Three groups of men and women (n=115) were studied: normal-weight (NW), overweight (OW) and obesity (OB). By controlling for age, sex, educational level and major diseases, weight status group differences (NW, OW, OB) in inhibition and shifting were analysed as well as performance related to BMI alone.

Results: The results show that individuals with higher BMI have lower inhibition capacities and that classically used weight status categories (NW, OW, OB) might not capture cognitive variability. No differences in shifting between behavioural responses were observed in relation to weight status nor BMI.

Conclusions: This paper provides new insights on cognitive factors in weight excess by presenting data from individuals with overweight, and data from individuals with obesity without major comorbidities. The results support that assessing inhibition capacities might be of interest in a clinical setting for patients with difficulties to lose weight.

CHAPITRE V – Inhibition, flexibilité comportementale, Indice de Masse Corporelle et statut pondéral

Introduction

Weight gain often occurs over time as the consequence of a decrease in energy expenditure combined with an increase in caloric consumption. Apart from genetic factors that predispose an individual to gain weight until obesity, and environmental factors that make large amounts of foods available while discouraging physical activity, behaviour accounts for a considerable proportion of individual weight variability (van Hout & van Heck, 2009). Goal-directed eating behaviour is guided by the cognitive processing of environmental (food availability, health recommendations) and internal (prandial state, hunger level, food cravings) information processed by the executive functions.

"Executive functioning" is an umbrella term that designates the ability of an individual to use an appropriate set of problem-solving skills for the attainment of a future goal (Welsh & Pennington, 1988). Executive functions are high-level cognitive processes that control low-level processes in the service of goal-directed behaviour (Friedman & Miyake, 2017). Among the several conceptualizations of executive functions (Barkley, 2012), Miyake et al. described three core executive functions, namely shifting, updating, and inhibition (Miyake et al., 2000). Shifting relates to the ability to shift between operations, tasks or mental sets in order to perform goal-related behaviour, while inhibition makes it possible to avoid interference from goal-unrelated stimuli. The updating function is used to actively manipulate information and to monitor cognitive processing in real-time. As a deficit in those capacities can predict everyday life functioning, they are assessed with neuropsychological tests in clinical practice (Harvey, 2012). In this study, the focus was exclusively on inhibition and shifting, which are two aspects of executive functioning that are most believed to influence eating behaviour in adult obesity (Dassen et al., 2018; Mobbs et al., 2011). Measuring such aspects in individuals with obesity could help to predict individual difficulties to reach and maintain a healthy lifestyle.

A deficit in inhibition might lead to automatic impulsive behaviour and uncontrolled eating. More specifically, this type of deficit might make it difficult for an individual to resist unhealthy foods because it leads to impulsive behaviour that results in hedonic intake (*i.e.* food intake that is driven by pleasure-seeking rather than hunger and satiety (Appelhans, 2009)). Several authors observed a deficit in inhibition in individuals with obesity when compared with their normal-weight (Bongers et al., 2015; Calvo et al., 2014; Chamberlain et al., 2015; Fagundo et

al., 2012; Gunstad et al., 2007; Mobbs et al., 2011; Prickett et al., 2018; Restivo et al., 2017), overweight (Chamberlain et al., 2015) or underweight (Fagundo et al., 2012) counterparts. On the contrary, other studies found that individuals with obesity and with normal-weight had similar inhibition capacities.

A deficit in the shifting component is linked to rigidity in behaviour that is exemplified by an inability to adjust to novel situations (*i.e.* lack of behavioural flexibility). These behaviours have been observed in Binge Eating Disorder and bulimia (Aloi et al., 2015; Roberts et al., 2007). Shifting has therefore been of interest in the study of cognitive factors underlying obesity (Martin & Davidson, 2014). Most studies used methodologies that jointly assess set-shifting (*i.e.* the ability to change between mental sets to achieve a flexible behaviour) and response shifting (*i.e.* the flexibility of the behaviour as an outcome variable). It is thought that deficits in shifting could severely impair the attainment of weight-loss objectives by altering the ability to regulate food intake. One study showed that adults with obesity had poorer shifting abilities than individuals with bulimia or normal-weight controls and that shifting was correlated with markers of anxiety and depression (Perpiñá et al., 2017). Individuals with obesity appear to have poorer shifting performance regardless of their depression and anxiety levels, suggesting that, in obesity, shifting and certain psychological comorbidities (such as depression or anxiety disorders) might operate independently in obesity (Cserjési et al., 2009). Some authors found weak relationships between performance on neuropsychological tasks assessing shifting and Body Mass Index (BMI) (Komaroff, 2016; Nuttall, 2015) indicating that the higher the BMI, the lower the performance (Gunstad et al., 2007; Volkow et al., 2009). Yet such observations seem to be equivocal when comparing performance in shifting according to weight status categories (normal-weight *vs.* overweight/obesity), (Gunstad et al., 2007). Indeed, several studies found no differences in shifting among patients with obesity when compared with individuals with normal weight (Fagundo et al., 2016; Mobbs et al., 2011) and overweight (Chamberlain et al., 2015). Additionally, patients with morbid obesity (BMI $\geqslant$ 40kg/m²) have been identified as having poorer shifting capacities, regardless of their physical comorbidities, though this finding is not consistent across studies (Boeka & Lokken, 2008; Fagundo et al., 2016; Restivo et al., 2017). Moreover, flexibility has been mostly studied in terms of shifting between mental sets, but rarely in terms of switching between two behavioural responses.

Regarding food behaviour, a deficit in shifting might make it challenging to change one's behaviour toward a healthier lifestyle, while a deficit in inhibition might make it more difficult not to think about foods and resist to eat them (Martin & Davidson, 2014). Low inhibition and shifting capacities could thus impair the ability to maintain a healthy weight. Several studies focused on understanding the relationship between inhibition capacities, shifting capacities and weight in adults with obesity, but no scientific consensus has yet been reached, while only a few studies measured behavioural components of inhibition and shifting.

The current perspective is that individuals with higher weight statuses could have inhibition and shifting deficits. Yet, a review of the literature showed that physical and psychological comorbidities (cardiovascular disease, depression, anxiety and eating disorders) have often been overlooked despite their potential influence on inhibition and shifting capacities. A study taking those aspects into account showed no significant differences in inhibition between individuals with obesity and normal-weight individuals (Prickett et al., 2018), but there is still a lack of evidence concerning cognitive functions and overweight (Yang et al., 2018). Also, there is heterogeneity concerning the sampling methods used to provide conclusions on inhibition and shifting in individuals of various weight statuses. Indeed, some studies compared obesity groups with normal-weight groups, based on current norms (normal-weight individuals having a BMI between 20 and 25 kg/m², and individuals with obesity having a BMI over 30 kg/m²), without including individuals with overweight (*i.e.* BMI between 25 and 30 kg/m²) (Mobbs, 2011 ; Bongers, 2015 ; Perpina, 2016 ; Fagundo, 2016). One study followed the same grouping procedure while integrating an overweight group (Chamberlain et al., 2015). Finally, some other studies analysed performance based on BMI as a continuous variable (Cserjesi, 2009 ; Volkow et al., 2009). The limits of previous studies are the lack of adjustment according to confounding variables (educational level, eating disorders, depression, major comorbidities) and the type/absence of control group (Prickett et al., 2015), as well as the statistical analysis performed.

The main objective of the present study was to clarify the relationship between inhibition and shifting regarding BMI, using simple, practical and quick neuropsychological tests from the Test of Attentional Performance (TAP) battery (Zimmermann & Fimm, 2010). It was intended to measure inhibition and shifting in otherwise healthy adults with normal weight, overweight and obesity, by analysing weight status group differences as well as performance according to

BMI. By controlling for educational level, gender, age and comorbidities, the main hypothesis of this work was that participants with higher BMI would have lower performance than normal-weight participants, in weight status group analyses as well as in BMI analyses.

Material and methods

Participants

Seventy-one women and 52 men (total 123) aged 20 to 60 years old took part in the present experiment. Participants were recruited from the population registered in the Chemosens Platform's PanelSens database. This database complies with national data protection rules and has been vetted by the appropriate authorities (Commission Nationale Informatique et Libertés – CNIL – 135 n = 1,148,039). Exclusion criteria were: age under 18 or over 60 years old, underweight (BMI < 18.5 kg/m²), chronic disease (such as type 2 diabetes, cardiovascular disease or hypertension), medical treatment with cognitive side-effects (antipsychotic, anxiolytic or antidepressant), and history of bariatric surgery. Those criteria were chosen as it has been shown that they can bias cognitive assessment regarding weight status (Prickett et al., 2018). Prior to the study, potential participants were contacted by e-mail and had to complete a checklist of the exclusion criteria mentioned above, in order to obtain final samples of individuals without major physical or psychological comorbidities or treatments that could impair their cognitive functioning. The measurements took place around 12:30 and comprised three to six participants at a time. Participants were in individual testing boxes, in front of a computer with the TAP software. The study was conducted in accordance with the Declaration of Helsinki and was approved by the Comité d'Evaluation Ethique de l'Inserm (CEEI, File number IRB 0000388817-417–Project number X 467). This research study adhered to all applicable institutional and governmental regulations concerning the ethical use of human volunteers.

TAP

In order to assess response inhibition and shifting, subtests from the Test of Attentional Performance (TAP) battery v. 2. 3. 1 were used (Zimmermann & Fimm, 2010). This battery comprises standardized and computerized subtests. Subtests from this battery were chosen as the battery has been created to be used in a clinical setting, is easy to perform for participants,

and has norms based on sex, age and educational level (Zimmermann & Fimm, 2002). It comprises several subtests assessing attentional functioning and related cognitive processes. Each subtest comes in several forms, ranging from easy to more complex. The Go/No-Go subtest was used to measure inhibition, and the Flexibility subtest was used to measure shifting. As there was no indication of participants' cognitive capacities prior to the study, the most basic version of each subtest with tasks that involved nonverbal material instead of verbal material.

For the version of the Go/no-Go subtest measuring response inhibition, two types of stimuli appear for 200ms in the centre of a black screen. Participants are instructed to respond as quickly as possible to a target stimulus, 'x' with their dominant hand, and to inhibit their response when a distractor stimulus, '+', appears. Stimuli appear in a pseudo-randomized order. Because the two stimuli are easily recognizable and elicit an immediate impulsive response from the participant, this task assesses immediate response control (Lavie et al., 2004; Zimmermann & Fimm, 2010). Forty stimuli appear during the task: 20 targets and 20 distractors. Stimulus onset asynchrony is variable between 2150 and 3350 milliseconds. The program records reaction times (RT) to reflect decision speed, commission errors to reflect a lack of inhibitory control, and omission errors to reflect an attentional lapse. Omission errors are different from commission errors as they signal that the stimulus did not recruit enough attention to induce a response from the participant, while commission errors signal an impulsive detection of the stimulus. A high amount of commission errors indicates low inhibition performance.

For the flexibility subtest measuring response shifting, two shapes (a round and an angular shape) are simultaneously presented on a black screen. One shape is on the left side of the screen and the other one on the right. In this version of the subtest, participants were instructed to press one of the two buttons in front of the computer (1– left, responded with the left hand, 2 – right, responded with the right hand) to indicate on which side they saw the round shape. This task assesses the ability to shift between different responses (switching hands between trials), and each participant completed a total of 50 trials. After each response, there was a short pause of 700ms before stimuli reappeared on the screen. The program records commission errors, reflecting accuracy, and reaction times (RT), which reflect speed. Instructions were provided on the screen, and participants were asked to respond with two reaction time buttons provided with the TAP (Zimmermann & Fimm, 2010).

For each session, participants always began by the inhibition measure. For each subtest, participants began with a brief training exercise, followed by the subtest. This procedure lasted between 10 and 20 minutes. At the end of the session, participants were administered the French version of the Questionnaire for Eating Disorder Diagnosis (Callahan et al., 2003; Mintz et al., 1997). Their answers to this questionnaire permitted to exclude participants with potential eating disorders from analysis (bulimia, Binge Eating Disorder, anorexia). Afterwards, the participants' height and weight were measured in order to accurately calculate their BMI, which permitted us to create weight status groups: normal-weight (NW; $18.5 \leq BMI < 25$), overweight (OW; $25 \leq BMI < 30$,), and obesity (OB; $BMI \geq 30$).

Statistical analysis

In a first step, the sociodemographic characteristics of the three groups were compared using ANOVA for quantitative variables and Chi2-Test for qualitative variables.

Then, the link between performance and BMI as a continuous variable or weight status as a categorical variable (NW, OW, OB) was evaluated using either a simple linear regression or a one-factor ANOVA. Several aspects of performance were considered. Three were obtained from the Go/No-go subtest, and two from the flexibility subtest.

Inhibition capacities were assessed using the raw number of commission errors obtained from the Go/no-Go subtest. Reactivity was reflected by median RTs from the Go/no-Go subtest. Lack of attention to stimuli was assessed by the number of omissions from the Go/no-Go subtest. Regarding the flexibility subtest, shifting was assessed by both the median RT and the number of commission errors. All those variables are raw measures of performance.

Also, performances corrected for age, sex and educational level were considered. Thereby, normative data from the TAP, correcting participant performance for age, sex and educational level, were used. Performances corrected for age, sex and educational level were arranged in percentiles by ascending order. Scores were subsequently assigned to each percentile, with a mean of 50 and a standard deviation of 10. Those scores, calculated by the TAP software, are named T-scores. T-scores inferior to 43 (percentile 25) indicate a performance lower than the mean, and T-scores superior to 57 (percentile 75) indicate a performance superior to the mean (Zimmermann & Fimm, 2010).

Two supplementary scores were calculated based on a 45° axis rotation of the T-score coordinates: First, a global performance index, corresponding to 0.707 * (TMedian RT + TNumber of errors – 100). If the participants' score is positive (> 0), the performance is above average, and if < 0, the performance is below average. Second, speed-accuracy trade-off, corresponding to 0.707 * (TNumber of errors – TMedian RT). If > 0, this index indicates that the participant mostly used a speed strategy involving more commission errors and shorter RTs. If < 0, this index indicates that the participant mostly used an accuracy strategy involving fewer commission errors and longer RT. Statistical analysis was performed with R.3.4.3 software (R Development Core Team, 2008). The significance threshold was set at 0.05.

Results

Forty-one individuals with normal weight (NW), 44 individuals with overweight (OW), and 38 individuals with obesity (OB) took part in the present experiment. Eight participants were excluded because their responses to the Questionnaire for Eating Disorder Diagnosis indicated disordered eating behaviour, leaving us with 38 NW, 40 OW and 37 OB, participants eligible for analysis (n=115). No difference was found in terms of age, sex ratio, or educational level. For detailed characteristics, see Table 1.

Table 1. Participants' characteristics. Means and SD are reported for quantitative variables. Number of participants and percentage among each weight status group are reported for qualitative variables. Difference between weight status groups was tested using ANOVAs for quantitative variables (age, BMI), and Chi-Tests for qualitative variables (Sex, Number of years in the scholar system). No significant difference was found, except for BMI in kg/m^2, used to create the groups.

	Weight status					
	Normal-weight (NW) n=38 (33%)		Overweight (OW) n=40 (35%)		Obesity (OB) n=37 (32%)	
	Mean	(SD)	Mean	(SD)	Mean	(SD)
Age (y): p=0.28	43.18	(11.28)	43.75	(8.89)	40.08	(11.82)
BMI (kg/m²): p<0.001	21.99[a]	(1.78)	27.15[b]	(1.37)	36.10[c]	(5.22)
	n	%	n	%	n	%
Sex: p=0.32						
Women	24	(63%)	20	(50%)	24	(65%)
Men	14	(37%)	20	(50%)	13	(35%)
Number of years of school education: p=0.37						
Less than 9 years	0	(0%)	1	(2%)	0	(0%)
9 years or more	2	(5%)	5	(13%)	6	(16%)
12 years or more	36	(95%)	34	(85%)	31	(84%)

[a, b, c] Superscript letters are associated to means, different letters indicating significant difference. BMI: Body Mass Index (kg/m²)

Inhibition

A decreased inhibition related to BMI as a continuous variable was observed in the Go/no-Go subtest ($F(1, 113)=4.93$, $R^2=0.04$, $p=0.028$), but there was no significant difference in the number of commission errors ($F(2, 112)=2.30$, $p=0.104$) according to weight status group. When using normative data (T-scores) in order to control for age, sex and educational level, there was still no difference for weight status groups ($F(2, 112)=1.93$, $p=0.150$), and the effect of BMI persisted ($F(1, 113) = 4.37$, $R^2=0.04$, $p=0.039$). Using BMI as a continuous variable, the participants' predicted T-scores decreased by 0.2 per additional kg/m² of BMI, while the group analysis did not show any significant difference between individuals with NW, OW and OB.

Concerning reactivity expressed in reaction times, no differences were observed for median RTs according to weight status groups [raw scores: F(2,112)=0.397, p=0.673 ; T-scores: F(2, 112)=0.16, p=0.856] or BMI [raw scores: F(1,113)=1.42, p=0.235; T-scores: F(1,113)=0.90, p=0.345].

For omissions, no significant difference emerged regarding weight status groups [raw scores: F(2, 112)=1.78, p=0.173 ; T-scores: F(2, 112)=1.53, p=0.220] . For BMI, a significant regression equation was found [raw scores: F(1, 113)=4.33, R^2=0.04, p=0.040 ; T-scores: F(1,113)=5.24, R^2=0.04, p=0.024]. Participants' predicted number of omissions increased by 0.032 per additional kg/m² of BMI, while no difference was observed by comparing weight status groups.

Shifting

During the flexibility subtest, the number of commissions errors was not related to weight status groups [raw scores: F(2,112)=0.11, p=0.898 ; T-scores: F(2, 112)=0.36, p=0.701], or BMI [raw scores: F(1,113)=0.45, p=0.504 ; T-scores: F(1,113)=0.96, p=0.330].

No differences in reactivity expressed in RT were observed in relation to weight status groups [raw scores: F(2, 112)=0.19, p=0.823 ; T-scores: F(2, 112)=0.07, p=0.933], or to BMI [raw scores: F(1, 113)=0.09, p=0.760 ; T-scores: F(1,113)=0.13, p=0.720].

For the global performance index no differences were found related to weight status groups (F(2, 112)=0.16, p=0.848) or to BMI (F(1, 113)=0.64, p=0.425). Concerning the speed/accuracy trade-off, no difference was found in regard to weight status groups (F(2, 112)=0.09, p=0.916) or BMI (F(1, 113)=0.01, p=0.934). Participants mostly used an accuracy strategy. All data are reported in Table 2.

Table 2. Performances (raw values and T-scores) from the *Go/no-Go* and *Flexibility* subtests for each weight status group. T-scores correspond to normative data from the TAP battery. T-scores inferior to 43 (percentile 25) indicate a performance lower than the mean, and T-scores superior to 57 (percentile 75) indicate a performance that is superior to the mean. Reported are p-values for weight status difference (ANOVA) or BMI effect (linear regression). BMI = Body Mass Index in kg/m².

	Weight status							
	Normal-weight (NW) n=38 (33%)		Overweight (OW) n=40 (35%)		Obesity (OB) n=37 (32%)			
	Mean	(SD)	Mean	(SD)	Mean	(SD)	*weight status p-value*	*BMI p-value*
Go/no-Go subtest								
Number of commission errors (raw)	1.58	(1.88)	2.00	(1.81)	2.68	(2.88)	0.105	0.028*
Number of commission errors (T)	48.39	(6.55)	46.62	(6.64)	45.11	(8.49)	0.150	0.039*
Median reaction times (raw)	337.59	(43.01)	336.47	(37.67)	329.45	(47.92)	0.673	0.235
Median reaction times (T)	61.74	(6.99)	62.00	(5.87)	62.59	(7.59)	0.856	0.345
Number of omission errors (raw)	0.13	(0.41)	0.47	(1.32)	0.59	(1.32)	0.173	0.040*
Number of omission errors (T)	48.61	(4.18)	46.87	(7.28)	45.92	(8.12)	0.220	0.024*
Flexibility subtest								
Number of commission errors (raw)	0.55	(0.92)	0.52	(0.93)	0.62	(0.95)	0.898	0.504
Number of commission errors (T)	50.84	(4.87)	51.25	(4.36)	50.30	(5.25)	0.701	0.330
Median reaction times (raw)	504.59	(104.74)	555.65	(125.82)	543.95	(102.52)	0.823	0.760
Median reaction times (T)	52.42	(9.00)	51.70	(11.57)	51.62	(10.19)	0.933	0.720
Global performance index	2.31	(6.34)	2.07	(8.30)	1.36	(7.55)	0.848	0.425
Speed-accuracy trade-off	-1.11	(8.03)	-0.34	(9.17)	-0.94	(8.61)	0.916	0.934

Discussion

The objective of this study was to measure inhibition and shifting in adults with normal-weight, overweight and obesity without major comorbidities (chronic diseases, eating disorders) by analysing weight status group differences as well as performance according to BMI.

Inhibition capacities

To our knowledge, this is the first time that the TAP has been used to measure differences in inhibition among adults of normal, overweight and obese weight statuses, and the present observations are consistent with several previous studies (Chamberlain et al., 2015; Fagundo et al., 2012; Gunstad et al., 2007). The results of the present study link BMI, but not weight status categories, with a deficit in inhibition of behavioural responses. The rationale is that BMI would be more precise in order to capture cognitive variability. Other studies have highlighted that a higher BMI was predictive of lower brain metabolism in regions related to inhibition (Volkow et al., 2009) and that excess adiposity might lead to changes in executive function (Graham et al., 2014). Both the percentage of fat mass and the physical activity level, which are variables that can differ within the same weight status group, have been observed to be more predictive of inhibition deficits (Baumgartner et al., 2017). However, those measurements have not been made in the present study. Such aspects should consequently be included in further studies that seek to clarify the relationships between obesity and eating behaviour. The tests from the TAP are made to be used in a clinical setting and it might be of interest to screen for inhibition deficits in obesity healthcare. Indeed, when a higher BMI is predictive of lowered inhibition, the ability to refrain from certain behaviours can be impaired, resulting, for instance, in an inability to resist tempting foods. Some authors have investigated food-related inhibition in comparison with global inhibition in individuals with normal-weight and overweight. They found that palatable food cues triggered strong appetitive responses which were harder to inhibit with increasing BMI (Houben et al., 2014).

Omission errors

BMI was also predictive of omission errors in the Go/no-Go subtest. Once more, those effects were not observed while analysing differences between weight status categories. Omission errors are linked to attentional capacities, as they signal a lack of recruitment of attentional

functions by stimuli (Bezdjian et al., 2009; Murphy et al., 1999). While inattention to stimuli was not precisely measured by the subtest, the findings presented in this study support several reports from the literature linking weight excess with a deficit in attentional functions (Cserjési et al., 2009; Gunstad et al., 2007; Tsai et al., 2017). Attentional and executive functions have been closely linked, such that an impairment in attentional functioning has an impact on executive functions (Vohs & Baumeister, 2016).

Shifting capacities

The present study did not find a significant relationship between shifting and BMI or weight status groups. Shifting between operations (here, switching response hand between trials) might not be influenced by BMI like other components of the shifting function. In this study, the flexibility subtest of the TAP assessed the speed of shifting between operations *i.e.*, changing response hands. Other studies finding deficits in shifting associated with higher BMIs have used methodologies assessing the ability to shift between concepts or mental sets (Volkow et al., 2009; Yang et al., 2018), which was not the case in the present study.

Furthermore, Fagundo et al. (2016) proposed that the executive profile in obesity is more associated with an impairment in executive functioning related to motivational or emotional processes rather than to rational and logical processes (Fagundo et al., 2016). This may explain the discrepancies in the current literature about weight excess and shifting. Additionally, it seems plausible that other factors interact with obesity to decrease shifting: a study (Ariza et al., 2012) found no difference in shifting performance between individuals with normal-weight and with obesity but observed an interaction of weight status with the presence of polymorphism of a crucial gene for dopaminergic transmission. Dopaminergic transmission plays a major role in reward-seeking mechanisms that are associated with excessive food intake (Appelhans, 2009). The study showed that individuals with obesity who had this polymorphism performed worse on shifting tasks than individuals with obesity who did not have this polymorphism, while this effect was reversed in individuals with normal weight status. Obesity might also interact with specific pathological conditions while decreasing shifting. An interesting finding is that, in patients with fibromyalgia syndrome, BMI seems to predict the cognitive ability to shift, providing evidence of a relationship between weight excess and shifting (Muñoz Ladrón de Guevara et al., 2018). Factors other than weight excess as measured

by BMI should thus be investigated in order to disentangle the effects of BMI on the different components of shifting.

Interestingly, no differences in inhibition or in shifting were linked to weight status groups (normal-weight, overweight, obesity) as defined by the current norms. These results can be explained by hypothesizing that weight status groups classically used to define weight excess, do not capture important variability concerning executive functioning compared to BMI. Consequently, using group analysis to explore cognitive differences might produce misleading findings when they are not coupled with analyses concerning BMI.

The results presented in this study were observed on behavioural tasks, and the inhibition and shifting functions were recruited by motor responses. As the easiest version of the Go/no-Go and Flexibility subtests from the TAP were selected, it is possible that more variability could be observed by using more complex versions of these tests. Also, as lower inhibition capacities seem to be related to higher BMI, clinical neuropsychological assessments might be of interest to better understand patients that have difficulties maintaining a healthy weight. Indeed, low inhibition capacities might induce a difficulty to resist tempting foods (Appelhans, 2009) which makes it interesting information to integrate into individual healthcare interventions.

According to Friedman & Miyake (2004), inhibition, shifting and updating are independent (Miyake et al., 2000). Consequently, some functions might be impaired, while others might remain intact. Also, the results of the present study do not exclude the hypothesis that inhibition deficits observed in obesity might occur prior to weight gain and be the cause of unhealthy weight rather than its consequence. Indeed, non-obese individuals with lowered inhibition might have an accrued risk of becoming obese or of developing impulse-related disorders (substance abuse, eating disorders) (Appelhans, 2009). In line with this, one could expect that performance in overweight individuals might situate at the crossroads of normal weight and obesity. Such results are observed, for instance, on several measures shown in Table 2. Nevertheless, it is not always the case, as seen for the shifting measurements, as well as for omission errors. Overweight is rarely investigated in studies focused on cognitive functioning and weight excess (Yang et al., 2018). For research purposes, using weight status as a continuum rather than as strict categories seems to be important.

Conclusions

By using simple and quick neuropsychological testing, the results of the present study suggest that inhibition performance decreases with increasing BMI while shifting performance remains similar across the weight status spectrum. Interestingly,it is the first time that subtests from the TAP are used to study inhibition and shifting deficits in healthy individuals of various weight statuses. *Inhibition* should be further investigated in research studying obesity as well as in clinical practice in order to better understand the influence of an inhibition deficit on everyday eating behaviour otherwise healthy adults of various weight statuses. Moreover, this research encourages further studies to focus on the whole weight status spectrum, using BMI as a continuous variable, and including overweight groups, to fully understand the relationships between cognitive performance and the whole continuum of the weight status.

References

1. Aloi, M., Rania, M., Caroleo, M., Bruni, A., Palmieri, A., Cauteruccio, M. A., De Fazio, P., & Segura-García, C. (2015). Decision making, central coherence and set-shifting: a comparison between Binge Eating Disorder, Anorexia Nervosa and Healthy Controls. *BMC Psychiatry*, *15*. https://doi.org/10.1186/s12888-015-0395-z

2. Appelhans, B. M. (2009). Neurobehavioral Inhibition of Reward-driven Feeding: Implications for Dieting and Obesity. *Obesity*, *17*(4), 640–647. https://doi.org/10.1038/oby.2008.638

3. Ariza, M., Garolera, M., Jurado, M. A., Garcia-Garcia, I., Hernan, I., Sánchez-Garre, C., Vernet-Vernet, M., Sender-Palacios, M. J., Marques-Iturria, I., Pueyo, R., Segura, B., & Narberhaus, A. (2012). Dopamine Genes (DRD2/ANKK1-TaqA1 and DRD4-7R) and Executive Function: Their Interaction with Obesity. *PLoS ONE*, *7*(7). https://doi.org/10.1371/journal.pone.0041482

4. Barkley, R. A. (2012). Problems with the Concept of Executive Functioning. In *Executive Functions: What They Are, How They Work, and Why They Evolved*. Guilford Press.

5. Baumgartner, N. W., Walk, A., Edwards, C. G., Covello, A. R., Chojnacki, M. R., Reeser, G. E., Taylor, A. R., Holscher, H. D., & Khan, N. A. (2017). Relationship Between Physical Activity, Adiposity, and Attentional Inhibition. *Journal of Physical Activity & Health*, *15*(3), 191–196. https://doi.org/10.1123/jpah.2017-0181

6. Bezdjian, S., Baker, L. A., Lozano, D. I., & Raine, A. (2009). Assessing inattention and impulsivity in children during the Go/NoGo task. *The British Journal of Developmental Psychology*, *27*(2), 365–383. https://doi.org/10.1348/026151008X314919

7. Boeka, A. G., & Lokken, K. L. (2008). Neuropsychological performance of a clinical sample of extremely obese individuals. *Archives of Clinical Neuropsychology: The Official Journal of the National Academy of Neuropsychologists*, *23*(4), 467–474. https://doi.org/10.1016/j.acn.2008.03.003

8. Bongers, P., van de Giessen, E., Roefs, A., Nederkoorn, C., Booij, J., van den Brink, W., & Jansen, A. (2015). Being impulsive and obese increases susceptibility to speeded detection of high-calorie foods. *Health Psychology: Official Journal of the Division of Health Psychology, American Psychological Association*, *34*(6), 677–685. https://doi.org/10.1037/hea0000167

9. Callahan, S., Rousseau, A., Knotter, A., Bru, V., Danel, M., Cueto, C., Levasseur, M., Cuvelliez, F., Pignol, L., O'Halloran, M. S., & Chabrol, H. (2003). [Diagnosing eating disorders: presentation of a new diagnostic test and an initial epidemiological study of eating disorders in adolescents]. *L'Encephale*, *29*(3 Pt 1), 239–247.

10. Calvo, D., Galioto, R., Gunstad, J., & Spitznagel, M. B. (2014). Uncontrolled eating is associated with reduced executive functioning. *Clinical Obesity*, *4*(3), 172–179. https://doi.org/10.1111/cob.12058

11. Chamberlain, S. R., Derbyshire, K. L., Leppink, E., & Grant, J. E. (2015). Obesity and dissociable forms of impulsivity in young adults. *CNS Spectrums*, *20*(5), 500–507. https://doi.org/10.1017/S1092852914000625

12. Cserjési, R., Luminet, O., Poncelet, A.-S., & Lénárd, L. (2009). Altered executive function in obesity. Exploration of the role of affective states on cognitive abilities. *Appetite*, *52*(2), 535–539.

13. Dassen, F. C. M., Houben, K., Allom, V., & Jansen, A. (2018). Self-regulation and obesity: the role of executive function and delay discounting in the prediction of weight loss. *Journal of Behavioral Medicine*, *41*(6), 806–818. https://doi.org/10.1007/s10865-018-9940-9

14. Fagundo, A. B., de la Torre, R., Jiménez-Murcia, S., Agüera, Z., Granero, R., Tárrega, S., Botella, C., Baños, R., Fernández-Real, J. M., Rodríguez, R., Forcano, L., Frühbeck, G., Gómez-Ambrosi, J., Tinahones, F. J., Fernández-García, J. C., Casanueva, F. F., & Fernández-Aranda, F. (2012). Executive functions profile in extreme eating/weight conditions: From anorexia nervosa to obesity. *PLoS ONE*, *7*(8). https://doi.org/10.1371/journal.pone.0043382

15. Fagundo, A. B., Jiménez-Murcia, S., Giner-Bartolomé, C., Agüera, Z., Sauchelli, S., Pardo, M., Crujeiras, A. B., Granero, R., Baños, R., Botella, C., de la Torre, R., Fernández-Real, J. M., Fernández-García, J. C., Frühbeck, G., Rodríguez, A., Mallorquí-Bagué, N., Tárrega, S., Tinahones, F. J., Rodriguez, R., … Fernández-Aranda, F. (2016). Modulation of Irisin and Physical Activity on Executive Functions in Obesity and Morbid obesity. *Scientific Reports*, *6*(1), 1–9. https://doi.org/10.1038/srep30820

16. Friedman, N. P., & Miyake, A. (2017). Unity and diversity of executive functions: Individual differences as a window on cognitive structure. *Cortex*, *86*, 186–204. https://doi.org/10.1016/j.cortex.2016.04.023

17. Graham, A. L., Gluck, M. E., Votruba, S. B., Krakoff, J., & Thearle, M. S. (2014). Perseveration augments the effects of cognitive restraint on ad libitum food intake in adults seeking weight loss. *Appetite*, *82*, 78–84. https://doi.org/10.1016/j.appet.2014.07.008

18. Gunstad, J., Paul, R. H., Cohen, R. A., Tate, D. F., Spitznagel, M. B., & Gordon, E. (2007). Elevated body mass index is associated with executive dysfunction in otherwise healthy adults. *Comprehensive Psychiatry*, *48*(1), 57–61. https://doi.org/10.1016/j.comppsych.2006.05.001

19. Harvey, P. D. (2012). Clinical applications of neuropsychological assessment. *Dialogues in Clinical Neuroscience*, *14*(1), 91–99.

20. Houben, K., Nederkoorn, C., & Jansen, A. (2014). Eating on impulse: The relation between overweight and food-specific inhibitory control. *Obesity*, *22*(5), E6–E8. https://doi.org/10.1002/oby.20670

21. Komaroff, M. (2016). For Researchers on Obesity: Historical Review of Extra Body Weight Definitions. *Journal of Obesity*, *2016*, 1–9. https://doi.org/10.1155/2016/2460285

22. Lavie, N., Hirst, A., de Fockert, J. W., & Viding, E. (2004). Load Theory of Selective Attention and Cognitive Control. *Journal of Experimental Psychology: General*, *133*(3), 339–354. https://doi.org/10.1037/0096-3445.133.3.339

23. Martin, A. A., & Davidson, T. L. (2014). Human Cognitive Function and the Obesogenic Environment. *Physiology & Behavior*, *0*, 185–193. https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2014.02.062

24. Mintz, L. B., O'Halloran, M. S., Mulholland, A. M., & Schneider, P. A. (1997). Questionnaire for Eating Disorder Diagnoses: Reliability and validity of operationalizing DSM—IV criteria into a self-report format. *Journal of Counseling Psychology*, *44*(1), 63–79. https://doi.org/10.1037/0022-0167.44.1.63

25. Miyake, A., Friedman, N. P., Emerson, M. J., Witzki, A. H., Howerter, A., & Wager, T. D. (2000). The Unity and Diversity of Executive Functions and Their Contributions to Complex "Frontal Lobe" Tasks: A Latent Variable Analysis. *Cognitive Psychology*, *41*(1), 49–100. https://doi.org/10.1006/cogp.1999.0734

26. Mobbs, O., Iglesias, K., Golay, A., & Van der Linden, M. (2011). Cognitive deficits in obese persons with and without binge eating disorder. Investigation using a mental flexibility task. *Appetite*, *57*(1), 263–271. https://doi.org/10.1016/j.appet.2011.04.023

27. Muñoz Ladrón de Guevara, C., Fernández-Serrano, M. J., Reyes del Paso, G. A., & Duschek, S. (2018). Executive function impairments in fibromyalgia syndrome: Relevance of clinical

variables and body mass index. *PLoS ONE*, *13*(4). https://doi.org/10.1371/journal.pone.0196329

28. Murphy, F. C., Sahakian, B. J., Rubinsztein, J. S., Michael, A., Rogers, R. D., Robbins, T. W., & Paykel, E. S. (1999). Emotional bias and inhibitory control processes in mania and depression. *Psychological Medicine*, *29*(6), 1307–1321.

29. Nuttall, F. Q. (2015). Body Mass Index. *Nutrition Today*, *50*(3), 117–128. https://doi.org/10.1097/NT.0000000000000092

30. Perpiñá, C., Segura, M., & Sánchez-Reales, S. (2017). Cognitive flexibility and decision-making in eating disorders and obesity. *Eating and Weight Disorders - Studies on Anorexia, Bulimia and Obesity*, *22*(3), 435–444. https://doi.org/10.1007/s40519-016-0331-3

31. Prickett, C., Brennan, L., & Stolwyk, R. (2015). Examining the relationship between obesity and cognitive function: A systematic literature review. *Obesity Research & Clinical Practice*, *9*(2), 93–113. https://doi.org/10.1016/j.orcp.2014.05.001

32. Prickett, C., Stolwyk, R., O'Brien, P., & Brennan, L. (2018). Neuropsychological Functioning in Mid-life Treatment-Seeking Adults with Obesity: a Cross-sectional Study. *Obesity Surgery*, *28*(2), 532–540. https://doi.org/10.1007/s11695-017-2894-0

33. R Development Core Team. (2008). *R: A Language and Environment for Statistical Computing* (Version 3.4.3) [Computer software]. R Foundation for Statistical Computing. http://www.r-project.org%7D%2C/

34. Restivo, M. R., McKinnon, M. C., Frey, B. N., Hall, G. B., Syed, W., & Taylor, V. H. (2017). The impact of obesity on neuropsychological functioning in adults with and without major depressive disorder. *PLoS ONE*, *12*(5). https://doi.org/10.1371/journal.pone.0176898

35. Roberts, M. E., Tchanturia, K., Stahl, D., Southgate, L., & Treasure, J. (2007). A systematic review and meta-analysis of set-shifting ability in eating disorders. *Psychological Medicine*, *37*(8), 1075–1084. https://doi.org/10.1017/S0033291707009877

36. Tsai, C.-L., Huang, T.-H., & Tsai, M.-C. (2017). Neurocognitive performances of visuospatial attention and the correlations with metabolic and inflammatory biomarkers in adults with obesity. *Experimental Physiology*, *102*(12), 1683–1699. https://doi.org/10.1113/EP086624

37. van Hout, G., & van Heck, G. (2009). Bariatric Psychology, Psychological Aspects of Weight Loss Surgery. *Obesity Facts*, *2*(1), 10–15. https://doi.org/10.1159/000193564

38. Vohs, K. D., & Baumeister, R. F. (Eds.). (2016). *Handbook of Self-Regulation, Third Edition: Research, Theory, and Applications* (Third edition). The Guilford Press.

39. Volkow, N. D., Wang, G.-J., Telang, F., Fowler, J. S., Goldstein, R. Z., Alia-Klein, N., Logan, J., Wong, C., Thanos, P. K., Ma, Y., & Pradhan, K. (2009). Inverse Association

Between BMI and Prefrontal Metabolic Activity in Healthy Adults. *Obesity*, *17*(1), 60–65. https://doi.org/10.1038/oby.2008.469

40. Welsh, M. C., & Pennington, B. F. (1988). Assessing frontal lobe functioning in children: Views from developmental psychology. *Developmental Neuropsychology*, *4*(3), 199–230. https://doi.org/10.1080/87565648809540405

41. Yang, Y., Shields, G. S., Guo, C., & Liu, Y. (2018). Executive function performance in obesity and overweight individuals: A meta-analysis and review. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, *84*, 225–244. https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2017.11.020

42. Zimmermann, P., & Fimm, B. (2002). A test battery for attentional performance. In M. Leclercq & P. Zimmermann (Eds.), *Applied Neuropsychology of Attention: Theory, Diagnosis and Rehabilitation* (1 edition). Psychology Press.

43. Zimmermann, P., & Fimm, B. (2010). *Tests d'Évaluation de l'Attention (TAP) - Version 2.3.1*. Herzogenrath: Psytest.

V – 3. Points clés et conclusions

Nos résultats ne montrent aucune différence d'inhibition et de flexibilité entre individus normo-pondéraux, en surpoids et en obésité. Les résultats mettent en évidence que contrairement à d'autres contextes, comme l'évaluation du risque cardio-vasculaire, les catégories basées sur l'IMC pour définir le surpoids et l'obésité ne sont pas pertinentes pour évaluer les capacités cognitives globales. Le lien entre l'excès pondéral et de faibles capacités d'inhibition est uniquement visible par l'utilisation de l'IMC. En analysant les différences de capacités d'inhibition par groupe de statut pondéral (normal, surpoids, obésité), aucune différence significative n'a été observée.

Un faible lien entre l'IMC et les capacités d'inhibition a pu être observé, témoignant que même sur des tests très simples, plus l'IMC est élevé, plus les capacités d'inhibition sont faibles. Pour la flexibilité, aucun lien entre les performances des participants et l'Indice de Masse Corporelle n'a été observé.

De plus, un strict contrôle des variables confondantes a été réalisé. Ce contrôle est nécessaire afin de mieux comprendre le traitement de l'information lié au statut pondéral : en effet, des variables telles que la présence de troubles du comportement alimentaire, les conditions médicales invalidantes (diabète de type 2, insuffisance respiratoire, problèmes cardio-vasculaires), la prise de traitements médicamenteux (comme les médicaments antidépresseurs, anxiolytiques ou antipsychotiques) peuvent influencer les capacités cognitives des individus et biaiser les résultats de recherches sur l'obésité, comme cela a été observé précédemment (Prickett et al., 2018).

Conclusions

Le déficit d'inhibition observé chez les individus de statut pondéral élevé permet de supposer que ces individus auront plus de mal à contrôler leur comportement dans certaines situations de la vie quotidienne. Notre étude n'a pas pu mettre en avant des différences au niveau de la flexibilité, mais d'autres méthodologies pourraient être plus sensibles pour évaluer cette fonction. D'autres facteurs psychosociaux comme la qualité de vie, le style alimentaire ou l'impulsivité peuvent également influencer ce traitement de l'information.

CHAPITRE VI – Comportement alimentaire, facteurs psychosociaux et Indice de Masse Corporelle

VI – 1. Introduction

La difficulté à mettre en avant des processus cognitifs communs en fonction du statut pondéral reflète la forte variabilité des individus au sein d'un même statut pondéral. Afin de mieux comprendre quelles sont les caractéristiques relatives au comportement alimentaire qui se retrouvent en fonction du statut pondéral, ce chapitre porte sur une étude par questionnaires visant à observer différents profils d'individus. Plusieurs questionnaires ont été envoyés aux participants des études mentionnées plus haut (n=232), à distance des séances expérimentales réalisées au laboratoire. Dans un premier temps, les questionnaires abordés ont été validés au regard des qualités psychométriques qu'ils présentent, sur l'ensemble des données. Dans un second temps, seuls les résultats des participants qui ont été pesés et mesurés au laboratoire ont été comparés (n=76), afin de pouvoir mieux comprendre comment les grandes tendances alimentaires et facteurs associés à l'obésité se répartissaient en fonction du statut pondéral et de l'IMC.

Ce chapitre est constitué de la publication suivante :

Mas, M., Chambaron, S., Chabanet, C., & Brindisi, M.-C. (*en préparation*). Psychosocial factors, eating behaviour and Body Mass Index.

VI – 2. Article: Psychosocial factors, eating behaviour and Body Mass Index.

Mas, M. [1], **Chambaron, S** [1]., **Chabanet, C.** [1], **Brindisi, M.-C.** [1,2]

[1] Centre des Sciences du Goût et de l'Alimentation, AgroSup Dijon, CNRS, INRAE, Université Bourgogne Franche-Comté, Dijon, France
[2] Department of Diabetes and Clinical Nutrition, Centre Hospitalier Universitaire de Dijon, Dijon, France

Abstract

Obesity is a multifactorial condition that is associated with high levels of morbidity and mortality, but the negative consequences of obesity vary between individuals. Considerable evidence suggests that Body Mass Index (BMI) needs to be completed with an assessment of psychological and behavioural factors related to obesity in order to provide adequate treatment for patients with obesity. However, there is a lack of understanding concerning psychological factors and behavioural patterns related to weight status. The present study aimed to identify different profiles of individuals with normal-weight, overweight and obesity. Seventy-six healthy individuals were weighed and measured, then characterized according to their responses to several questionnaires assessing sociodemographic variables, food-related variables, quality of life variables, body image, and psychological aspects. Our results show that health and body dissatisfaction, sensation seeking, and frequent consumption of fatty-savoury foods were higher in individuals with higher BMI. Moreover, a hierarchical cluster analysis permitted to identify 3 profiles of individuals with various weight statuses: satisfied, protected and vulnerable. The implication of these findings in caring patients is crucial and more research on the various phenotypes that can be found within overweight and obesity groups must be encouraged.

Introduction

Obesity is a multifactorial disease that is defined by the World Health Organization as "the disease in which excess body fat has accumulated to such an extent that health may be adversely affected" (WHO, 2020). It is usually measured by Body Mass Index (BMI) to represent adiposity in individuals. BMI is an indicator that is based on weight and height, and it is known to represent individual mortality, mostly based on cardiovascular risk (Komaroff, 2016). In

2011, in France, the French Health Authority (Haute Autorité de Santé, 2011) published recommendations for the first-line medical management of overweight and obesity. This statement recommends measuring obesity using BMI, which allows to describe several weight status categories: underweight (BMI < 18.5 kg/m^2); normal-weight (18.5 ≤ BMI < 25 kg/m^2); overweight (25 ≤ BMI < 30 kg/m^2); and obesity (BMI ≥ 30 kg/m^2). Several studies have shown that the relationship between BMI and mortality is a U-shaped curve, with the lowest mortality being represented by normal weight status (Collaboration, 2009).

The recommendations from the French Health Authority encourage physicians to manage weight in patients with obesity (as classified by BMI), advising a weight loss of 5% to 15% of the total weight to improve their health. However, the use of BMI has been called into question for several reasons. First, several studies have pointed out that using BMI to assess obesity-related health complications would lead to misclassification of individuals based on their weight status (Tomiyama et al., 2016). Moreover, some studies show that the relationship between BMI and morbidity is complex, depending on multiple factors. Also, some individuals with obesity have a metabolically healthy phenotype, meaning that their cardiovascular risk is lower than in individuals with metabolically unhealthy obesity, leading to misclassification of individual health risk based on BMI alone (Tomiyama et al., 2016). Secondly, categorizing health based on BMI can lead to anti-fat bias, promoting the view that higher weight individuals are unhealthy.

Anti-fat bias leads society to think that individuals with obesity are a burden to society and that they are fat because of poor lifestyle habits and lack of self-regulation (Tylka et al., 2014). However, in some individuals, excess fat interacts with other factors and results in an impairment of health and quality of life (Sharma & Kushner, 2009). Some psychological factors, such as mood, depression, anxiety, body image, or specific eating styles can interact with obesity as well (Sarwer & Polonsky, 2016). New classifications of obesity have subsequently been proposed to assess mortality and morbidity, as well as functional status and comorbid aspects of obesity. For instance, The Edmonton Obesity Staging System (EOSS), which was proposed by Sharma and Kushner (2009), classifies patients according to a medical, mental and functional axis. Another classification, the Kings Obesity Staging Criteria (KOCS), classifies patients according to nine domains (airways, BMI, cardiovascular disease, diabetes, economic complications, functional limitations, gonadal axis, perceived health status, and body

image, Aasheim et al., 2011). While those classifications are innovative and integrate novel obesity-related aspects (functional and psychological aspects, body image, perceived health status), there is still a lack of knowledge on different psychological and behavioural patterns related to weight status. Indeed, obesity has previously been associated with dysfunctional eating styles, such as emotional eating (*i.e.* the tendency to overeat in response to one's emotions), and external eating (*i.e.* the tendency to eat in response to external stimuli) (van Strien, 2018). Other studies show that dietary patterns and fatty foods liking might be related to excess weight (Benelam, 2009; Lampuré et al., 2016). Moreover, impulsivity might favour overeating patterns that occur in some forms of obesity (Jáuregui-Lobera & Montes-Martínez, 2020; Moore et al., 2017). To better understand obesity, psychological and behavioural factors related to eating behaviour should be described across the weight status spectrum. Indeed, several phenotypes of obesity seem to coexist, and such differences might be of psychological origin. Moreover, some forms of vulnerability to obesity might exist in other weight status categories as well. The present study aimed to identify several profiles of individuals of various weight statuses, by selecting variables from distinct domains: sociodemographic variables, food-related variables, quality of life, body image, and psychological aspects.

Material and Methods

Participants and data collection

Two hundred and thirty-one individuals came to the laboratory for two different experiments (Mas et al., 2019, 2020). For both studies, exclusion criteria were: age under 18 or over 60 years old, chronic disease (such as diabetes, hypertension, or any type of cardiovascular disease), medical treatment that may affect mental awareness, history of bariatric surgery, pregnancy, and underweight. Age, sex, self-reported weight and height, and educational level were recorded during the experimental sessions. Only participants from the second experiment were measured and weighed in light clothing at the laboratory to precisely calculate their BMI in kg/m^2. During their session at the laboratory, participants were asked several questions about their relationship with fatty foods (see section "Food preferences and consumption") and filled the Questionnaire for Eating Disorder Diagnosis (Q-EDD, Callahan et al., 2003; Mintz et al., 1997) to screen for the presence of an eating disorder. At the end of the sessions (Mas et al., 2019, 2020), experimenters asked participants whether they would like to participate in an

online survey about personality and behaviour. If they agreed to pursue the study by an online questionnaire, participants were sent the questionnaire by e-mail 2 weeks after their session at the laboratory. The questionnaire was composed of several scales detailed below and took approximately 20 minutes to complete. Participants were free to answer the questions or not, an option of the survey which was chosen to maximize the number of data collected while minimizing the dropout rate. No response deadline was specified, but participants generally responded within a few days. The study was conducted in accordance with the Declaration of Helsinki and was approved by the Comité d'Evaluation Ethique de l'Inserm (CEEI, File number IRB 0000388817–417). This research study adhered to all applicable institutional and governmental regulations concerning the ethical use of human volunteers.

Measurements

Food preferences and consumption

To assess individual consumption of high-energy dense foods, three domains were investigated: liking of fatty foods (*"I like fatty foods"*), consumption of sweet fatty foods *("I often consume sweet fatty foods (candies, chocolate, cakes)"*), and consumption of savoury fatty foods ("I often consume savoury fatty foods *(fried foods, burgers, pizzas, crisps)*"). Respondents had to indicate whether they agreed with these three affirmative sentences on a 5-point Likert scale (1: not at all, 5: absolutely).

Dutch Eating Behavior Questionnaire (DEBQ)

The Dutch Eating Behaviour Questionnaire is a 33-items questionnaire developed by van Strien et al. (van Strien et al., 1986). This questionnaire is composed of three scales: a scale for external eating (10 items), a scale for emotional eating (13 items), and a restrained eating scale (10 items). It measures the frequency of certain eating behaviours on Likert scales from 1 ("never") to 5 ("very often"). The French version was translated by Brunnault et al., 2015 (Brunault et al., 2015).

BIS- 11

Barratt Impulsiveness Scale 11th version (Baylé et al., 2000; Patton et al., 1995) was used to assess respondent impulsivity. This questionnaire measures impulsivity through three principal

components: motor impulsiveness ("acting without thinking"); attentional/cognitive impulsiveness ("fast decisions") and non-planning (being more present-oriented than future-oriented). This scale comprises 30-items, evaluated on a 4-point Likert Scale ranging from 1 ("never") to 4 ("very often").

UPPS – sensation seeking scale

To complete our assessment of impulsivity, we selected the Sensation-Seeking subscale of the UPPS Questionnaire by Whiteside & Lynam (Whiteside & Lynam, 2001) was selected. This subscale comprises 12 items assessing the tendency to engage in behaviour that procures sensations or is exciting (Whiteside & Lynam, 2001). This component of impulsivity has been of interest in the study of eating behaviours such as bulimia (Billieux, 2012), and of addictive disorders which have been highlighted to present similarities to some forms of obesity. Also, it has been linked to some form of pleasure-seeking related to foods (Mobbs et al., 2010). Each item of the scale is an affirmation and the respondent has to indicate its agreement on a 4-point Likert scale (1: Totally Agree, 4: Totally Disagree, several items being reversed).

Body Image: Stunkard's silhouettes

Stunkard's Silhouettes (Stunkard et al., 1983) were used to study participants' body image. This test presents 18 body figures (9 males, 9 females) of diverse shapes from underweight to obesity. Respondents were asked to select the figure that was the most representative of their actual body (perceived body) and to select the figure they wish to have ideally (ideal body). The difference between perceived body image and ideal body image was used to determine the level of dissatisfaction with the current body image. A positive value means that the individual wishes to be thinner, and a negative value means that the participant wishes to be heavier. The higher the score in absolute value, the higher the body dissatisfaction. To compare silhouettes chosen by participants to real BMI, norms provided by Bulik et al., 2006 were used (Bulik et al., 2001).

To study participants' body image, we used Stunkard's Silhouettes (Stunkard et al., 1983). This test presents 18 body figures (9 males, 9 females) of diverse shapes from underweight to obesity. Respondents were asked to select the figure that was the most representative of their actual body (perceived body) and to select the figure they wish to have ideally (ideal body).

The difference between perceived body image and ideal body image was used to determine the level of dissatisfaction with the current body image. A positive value means that the individual wishes to be thinner, and a negative value means that the participant wishes to be heavier. The higher the score in absolute value, the higher the body dissatisfaction. To compare silhouettes chosen by participants to real Body Mass Index, norms provided by Bulik et al., 2006 were used (Bulik et al., 2001).

WHOQOL-BREF (WHOQOL-26)

To assess overall quality of life, the World Health Organization Quality of Life Assessment in its brief form was used. The WHOQOL-BREF is the 26-item short form of a 100 items scale developed by the World Health Organization (The WHOQOL Group, 1998). This questionnaire comprises several independent sub-scales: *physical health* (7 items, assessing quality of life through energy, pain, sleep and rest); *psychological health* (6 items, assessing quality of life through body image, negative and positive feelings, self-esteem, thought, learning, memory, and concentration); *social relationships* (3 items, assessing quality of life through interpersonal relationships, perceived social support and sex life) and *environment* (8 items, assessing quality of life through financial aspects, perceived freedom and safety, as well as individual daily surroundings). This questionnaire also comprises two independent questions asking the participant to rate their perceived quality of life and satisfaction concerning their health (Baumann et al., 2010; Martin, 2008).

Social Desirability: Eysenck's Lie Scale

As our investigation relied on direct questionnaire measurements, it was important to add some measure of social desirability. Indeed, respondents tend to conform to social norms when answering questionnaires, and this effect has been described for questions concerning food (Hebert et al., 2008) and in individuals with obesity (Major et al., 2014). The Lie Scale from the revised Eysenck personality questionnaire (EPQR, Bouvard et al., 2010; Francis et al., 1992; Pelissolo, 2008) was chosen. This questionnaire assesses the tendency of respondents to lie in their answers by asking questions like *"have you ever cheated in a game?"*. Ten yes/no questions were used to assess the participant's tendency to conform to social norms in their responses to the questionnaire.

Statistical analysis

Questionnaires validation

To investigate the factor structure of the questionnaires, a confirmatory factor analysis (CFA) was used on the whole sample. CFA is a statistical method that is widely used for developing and refining measurement instruments (Jackson et al., 2009). It can be used for assessing construct validity (Brown, 2015) by investigating both convergent validity and discriminant validity. Convergent validity is used to check that several observed variables (i.e. items scoring) are consistent and can be used to evaluate the same latent construct, it is thus used to evaluate the consistency between observed variables (i.e. items scoring) and latent constructs, while discriminant validity is used to check that two or more constructs measure different latent variables (Brown, 2015). The goodness-of-fit was evaluated using the standardized root mean square residual (SRMR), root mean square error of approximation (RMSEA) and its 90% confidence interval (90% CI), comparative fit index (CFI), and the Tucker–Lewis index (TLI). Guided by suggestions provided in Brown et al. (2006), an acceptable model fit was defined by the following criteria: RMSEA ≤ 0.08, SRMR ≤ 0.08, CFI ≥ 0.90, and TLI ≥ 0.90. To improve the convergent validity and goodness-of-fit, the analysis followed the recommendations of Wieland & al., 2017 (Wieland et al., 2017), and eliminated the items with low loading on their factor from the questionnaires. Cronbach's alphas were subsequently calculated to report internal consistency for each subscale.

Score calculation and Predictive Mean Matching

The mean score was calculated for each score (subscales of WHOQOL-26 and DEBQ, score for UPPS-S and EPQRL) for each participant. After this process, 58 missing data remained (<3.5% of the total dataset). To complete the missing data, Predictive Mean Matching was used. Predictive Mean Matching is an imputation technique based on a specified model (here, data from the final sample, n=76). This imputation method was preferred over traditionally used methods like replacing missing data with the median, as those methods tend to reduce between-subjects variance. Predictive Mean Matching borrows an observed value from a donor with a similar predictive mean and repeats it for each missing data (Morris et al., 2014).

Single relationship between variables, Body Mass Index, and weight status categories

For the total sample, ANOVA was used to compare the three weight status groups on sociodemographic variables (age, sex, educational level). Chi2 tests were used to compare the sex ratio between the three weight status groups. After questionnaire validation on the whole sample, the following analysis was focused on participants who were measured and weighed. To evaluate the relationships between the variables of interest and BMI on the weighed and measured sample, linear regression was used, completed by Kendall's correlation coefficient.

Partial Least Square Regression and Hierarchical Cluster Analysis

Partial Least Squares Regression (PLSR) was performed to visualize the relationships between BMI (dependent variable) and the variables of interest (predictor variables). This method can be used when the model theory has not been developed sufficiently or when the sample size is small (Tabatabaee et al., 2018). The major interest of PLSR over multiple regression analysis is that it allows us to predict a dependent variable (here, BMI), based on several predictors even if some of the predictors have high correlations. PLSR can be used to describe the common structure of the variables based on covariance between predictors and dependent variables, which makes it more advantageous than principal component analysis (Abdi, 2010). Each variable was scaled before PLSR was performed. Then a Leave-One-Out Cross-Validation was performed to determine the optimal number of latent components, which was selected based on Residual Mean Square Error (RMSE; the lower the RMSE, the optimal number of latent components selected).

Afterwards, participants' scores for each selected latent component were extracted from the PLSR analysis, then centred and scaled to perform a Hierarchical Cluster Analysis (HCA) according to the method described in Liu et al., 2006 (Liu et al., 2006). Clusters were formed using Ward's method which minimizes within-cluster variance (Everitt et al., 2011). This method has been known to outperform other methods in producing homogeneous and interpretable clusters (Punj and Steward, 1983; Harrigan, 1985 in Segev, 2010). To stay in line with our initial analysis of three weight status categories, k=3 clusters were chosen.

Statistical analysis was performed with R.3.6.1 software (R Development Core Team, 2008). The packages *lavaan* v.0.6.5 (Rosseel, 2012), and *plsdepot* v.0.1.17 (Sanchez, 2012) were used

for CFA and PLSR respectively. The significance threshold was set at 0.05. Full data are available upon request to the corresponding author of this manuscript.

Results

Validation of the psychometric qualities of the questionnaires

Characteristics of the whole sample used for validating the questionnaires

In a first step, all data collected were used to assess the psychometric qualities of the questionnaires with CFA and Cronbach's alpha. One hundred and fifty-nine participants (101 women and 58 men) completed the questionnaire. The mean age was 40.75 years (SD=9.95). The median education level was 2 years of post-secondary education and 28% of the sample had a high school finishing diploma or less.

As mentioned in the Material and Methods section, participants were free to answer the questions or not, an option of the survey which was chosen to maximize the number of data collected while minimizing the dropout rate. This lead to missing data amongst the questionnaire. Of the 158 participants who completed the questionnaires until the end, only respectively 136, 127, 133 and 124 participants filled 100% of the DEBQ, WHOQOL-26, EPQRL, and UPPS-S.

CFA and Cronbach's alpha were performed by using the reference factorial structure on complete data for DEBQ, BIS-11, and WHOQOL-26, and one-factor CFA and Cronbach's alpha were computed for UPPS-S and EPQRL. BIS-11 was not eligible for further analysis because Cronbach's alphas were below 0.260 for all the subscales, which left only one measure of impulsivity (UPPS-S). Some items were removed because they had a low loading with their factor. This process was done for the DEBQ Externality subscale, in which 1 item was removed, EPQRL, in which 3 items were removed, and for two subscales of the WHOQOL 26, in which 2 items were removed from the physical subscale and 5 for the environmental subscale, leading to modified versions of the questionnaires. Of the 158 participants who completed the questionnaire until the end, respectively 137, 135 and 138 filled 100% of the modified versions of the DEBQ, WHOQOL-26, and EPQRL. Data are shown in Table 1.

Table 1 – Results of the CFA analysis for each questionnaire, before and after modifications. RMSEA: Root Mean Square Error of Approximation (90% Confidence Interval), SRMR: standardized root mean square residual, CFI: comparative fit index, TLI: Tucker–Lewis index

Questionnaire	RMSEA ; 90% CI	SRMR	CFI	TLI	Nb of complete obs.
DEBQ (original version)	0.06 [0.055 ; 0.772]	0.085	0.85	0.83	n=136
DEBQ modified version	0.06 [0.054 ; 0.072]	0.084	0.858	0.847	n=137
WHOQOL-26 (original version)	0.05 [0.029 ; 0.061]	0.076	0.892	0.878	n=127
WHOQOL-26 modified version	0.02 [0.00 ; 0.057]	0.05	0.982	0.977	n=135
EPQRL (original version)	0.02 [0.000 ; 0.06]	0.06	0.969	0.961	n=133
EPQRL modified version	0.06 [0.00 ; 0.113]	0.062	0.903	0.855	n=138
UPPS-S	0.08 [0.05 ; 0.11]	0.07	0.821	0.781	n=124

After this scale purification process, Cronbach's alpha was still low for the psychological subscale of the WHOQOL (α= 0.434). Subsequently, three items that seemed appropriate for categorizing psychological issues linked to obesity were selected: negative feelings, ability to concentrate, and acceptance of physical appearance. Those items were used as sole variables in further analyses. Considering those aspects, the following analysis reviews 5 groups of variables and their relation to weight status categories as well as BMI:

- Sociodemographic variables (3): age, sex, education level

- Quality of life (WHOQOL-26) (5): subjective quality of life, health satisfaction, physical quality of life, environmental quality of life, social quality of life

- Food-related variables (6): liking of fatty foods, frequency of fatty-sweet food consumption, frequency of fatty-savoury food consumption, restraint (DEBQ), emotional eating (DEBQ), external eating (DEBQ)

- Psychological variables (4): social desirability (EPQRL), sensation-seeking (UPPS-S), negative feelings, concentration abilities (two items from WHOQOL-26, psychological scale)

- Body image variables (3): ideal body (Silhouette test), body dissatisfaction (ideal body – perceived body, Silhouette test) and acceptance of physical appearance (one item from the WHOQOL-26 psychological scale)

Data preparation

To analyse participants' results concerning weight status and BMI, only participants who had been weighed and measured at the laboratory were selected. Analytic processes and exclusions are specified in Figure 1. On hundred and twenty-four participants were weighed and measured, and 8 were found to have an eating disorder according to the Q-EDD results. Then, all participants with major missing data for the online questionnaire were excluded from the analysis (n=40). Finally, 25 individuals with normal weight (NW), 29 individuals with overweight (OW), and 22 individuals with obesity (OB) were included in our final sample (n=76). Sociodemographic characteristics and BMI are detailed in Table 2.

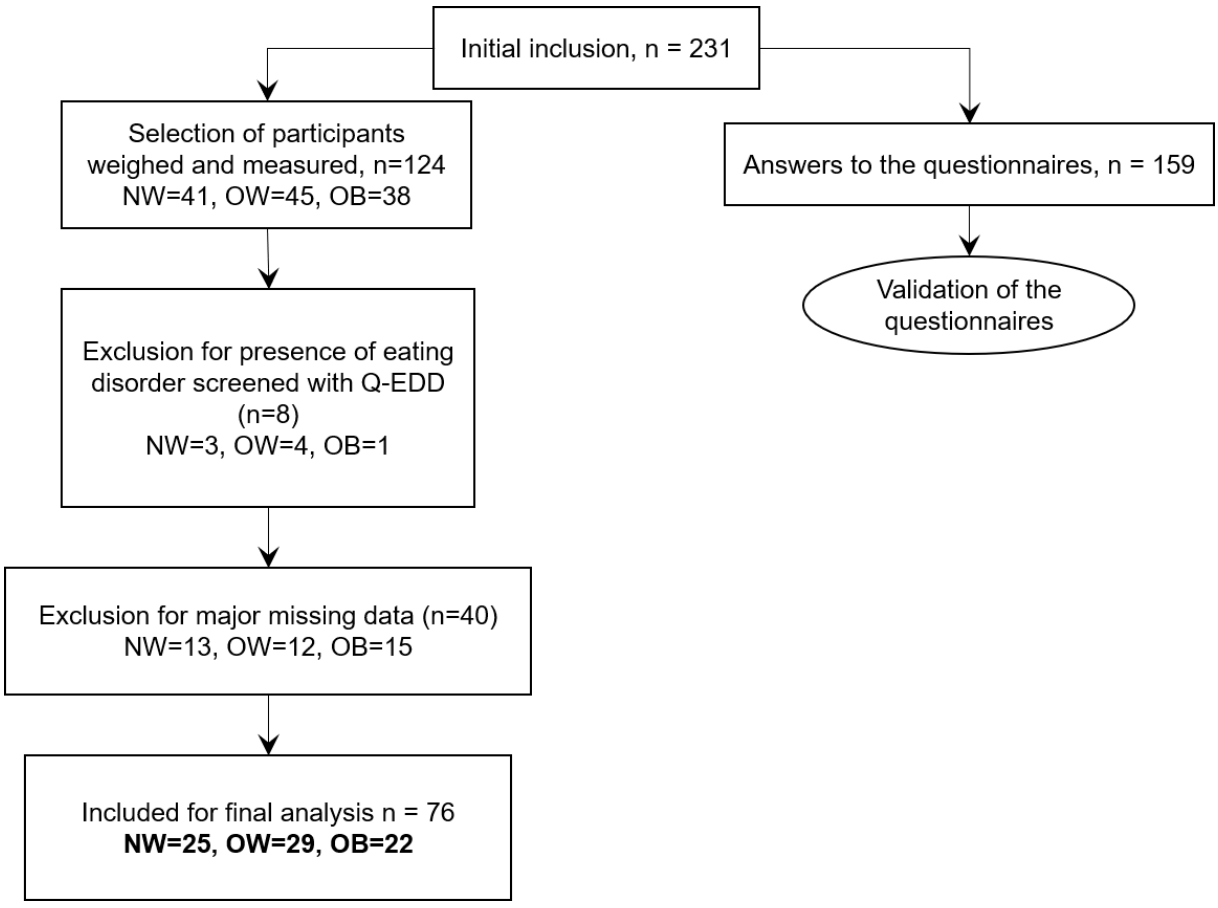


Figure 1. Flowchart of analytic process and exclusion criteria. NW = normal-weight; OW= overweight; OB = obesity.

Table 2. Final sample characteristics. BMI = Body Mass Index. Values for continuous variables are expressed as means (SD). Education level is expressed as the number of years after obtaining a high school finishing diploma.

	Normal-weight (NW) n=25	Overweight (OW) n=29	Obesity (OB) n=22	p-value
BMI	21.6 (1.9)	26.8 (1.3)	35,5 (5.2)	<0.001
Age	43.5 (11.3)	44.5 (8.6)	40,1 (12.3)	0.33
Sex (M/F)	8/17	15/14	7/15	0.23
Educational level	3.2 (2.4)	2.7 (2.8)	1.9 (1.9)	0.24

Relationship between variables, body weight, and weight status

Out of the 18 variables investigated, only 4 had a significant relationship with BMI: health satisfaction, frequency of fatty-savoury food consumption, ideal body, and body dissatisfaction. The relationship between BMI and sensation-seeking was borderline significant (p=0.05). Ideal body and body dissatisfaction scores were significantly different between the three weight status groups (NW, OW, and OB), while the other variables significantly associated with BMI were not different between weight status groups. All data are shown in Table 3.

The health satisfaction score ($F_{(1,74)}$=8.57, R^2=0.10, p=0.004) decreased by 0.05 per additional kg/m² of BMI. Participants with higher BMI declared more frequently consuming sweet-fatty foods ($F_{(1,74)}$=9.31, R^2=0.11, p=0.003). A trend was observed for weight status ($F_{(2,73)}$= 3.08; p=0.05), with participants declaring more that they frequently consumed fatty-savoury foods than normal-weight participants (OB *vs.* NW = +0.8, p=0.01). For ideal body [*BMI:* $F_{(1,74)}$=66.26, R^2=0.47, p<.001; *weight status:* $F_{(2, 73)}$=20.42, p<.001], participants with obesity chose higher BMI silhouettes than their normal-weight (OB *vs.* NW = +1.43, p<.001) and overweight counterparts (OB *vs.* OW = +0.76, p<.001). Participants with overweight chose silhouettes representing higher BMI than individuals with normal weight (OW *vs.* NW=+0.66, p=0.002) but they chose silhouettes with lower BMI than individuals with obesity. The median ideal body silhouettes chosen by individuals with normal-weight and overweight corresponded to a normal weight status, while the median ideal body silhouettes chosen by individuals with obesity corresponded to overweight weight status. For body dissatisfaction [*BMI:* $F_{(1,74)}$=56.58,

R^2=0.43, p<.001 ; *weight status:* $F_{(2, 73)}$=19.54, p<.001], participants with obesity had more body dissatisfaction than their normal-weight (OB *vs.* NW = +1.67, p<.001) and overweight counterparts (OB *vs.* OW = +0.90, p<.001). Participants with overweight had higher body dissatisfaction than individuals with normal weight (OW *vs.* NW=+0.77, p=0.002) but lower body dissatisfaction than individuals with obesity. For sensation seeking, a borderline significant effect of BMI ($F_{(1, 74)}$=3.88, p=0.05) indicated that the sensation-seeking score increased by 0.02 per additional kg/m² of BMI.

Table 3. Results by weight status group (mean, SD), p values for weight status group differences, p values for BMI regression, and Kendall correlations between BMI and each variable. NW=Normal-weight, OW=overweight OB=obesity, N/A=not applicable, *=p<0.05. [a]WHOQOL, [b]DEBQ, [c]Stunkards' Silhouettes, [d]EPQRL, [e]UPPS-S.

	NW n=25	**OW** n=29	**OB** n=22	Weight status p	BMI p	BMI τ , (p)
Quality of life						
Subjective quality of life [a]	3.9 (0.8)	3.9 (0.7)	3.8 (0.5)	0.98	0.95	-0.02 (0.82)
Health satisfaction [a]	3.0 (0.8)	2.7 (1.0)	2.4 (1.0)	0.09	**<0.01***	**-0.22 (0.01)***
Physical quality of life [a]	3.0 (0.7)	3.2 (0.7)	3.9 (0.8)	0.37	0.28	-0.02 (0.78)
Environmental quality of life [a]	3.8 (0.4)	3.7(0.7)	4.0 (0.5)	0.07	0.23	0.09 (0.27)
Social quality of life [a]	3.7 (0.6)	3.6 (0.8)	3.6 (0.8)	0.80	0.74	-0.04 (0.66)
Food-related variables						
Liking of fatty foods	2.5 (1.4)	2.3 (1.0)	2.5 (1.0)	0.75	0.44	0.05 (0.51)
Frequency of fatty-sweet food consumption	2.9 (1.3)	2.8 (1.1)	2.8 (1.3)	0.99	0.77	-0.03 (0.69)
Frequency of fatty-savoury food consumption	2.0 (1.0)	2.3 (1.1)	2.8 (1.2)	0.05	**0.003***	**0.18 (0.02)***
Restraint [b]	2.7 (0.7)	2.8 (0.7)	2.5 (0.8)	0.40	0.46	-0.054 (0.54)
Externality [b]	2.7 (0.6)	2.6 (0.6)	2.7 (0.8)	0.91	0.62	-0.02 (0.82)
Emotional Eating [b]	2.3 (0.8)	2.5 (0.7)	2.7 (1.3)	0.34	0.28	0.04 (0.64)
Body Image						
Ideal body [c]	3.1 (0.7)	3.8 (0.7)	4.6 (0.9)	**<.001***	**<.001***	**0.54 (<.001)***
Body dissatisfaction [c]	0.6 (1.0)	1.4 (0.7)	2.3 (1.0)	**<.001***	**<0.01***	**0.50 (<.001)***
Acceptance of physical appearance [a]	2.8 (1.0)	2.9 (1.4)	3.1 (1.5)	0.65	0.73	0.03 (0.73)
Psychological variables						
Social desirability [d]	2,5 (0,2)	2,4 (0,2)	2,4 (0,2)	0.57	0.77	0.08 (0.32)
Sensation seeking [e]	2.3 (0.5)	2.2 (0.6)	2.4 (0.6)	0.36	**0.05**	0.09 (0.22)
Negative feelings [a]	2.2 (1.2)	1.8 (0.6)	2.1 (1.0)	0.25	0.53	-0.07 (0.40)
Concentration abilities [a]	1.8 (0.8)	2.0 (1.0)	1.9 (0.7)	0.86	0.67	0.07 (0.40)

Partial Least Square Regression

PLSR was performed to explain BMI by the latent structure of the variables of interest (3 sociodemographic variables; 5 variables related to the quality of life; 6 food-related variables; 4 psychological variables; and 3 variables related to body image). The optimal number of latent components identified for our model was 2, R^2=0.57.

The first component, axis 1, explained 43% of the BMI variance. This axis was highly correlated to body dissatisfaction (0.80) and BMI (0.67), moderately correlated to the frequency of fatty-savoury food consumption (0.56) and emotional eating (0.48), and weakly correlated to sensation seeking (0.38), frequency of sweet-savoury food consumption (0.38) and liking of fatty foods (0.34). Axis 1 was negatively correlated to health satisfaction (-0.59), social quality of life (-0.41), and weakly to educational level (-0.33).

The second component, axis 2, explained 14% of the BMI variance. This axis was highly and negatively correlated to negative feelings (-0.65), moderately to external eating (-0.58) and frequency of fatty-sweet food consumption (-0.53), and weakly correlated to emotional eating (-0.41) and liking of fat (-0.40). Axis 2 was also positively correlated to environmental (0.46), physical (0.45) and subjective quality of life (0.42), and weakly correlated to BMI (0.37) and social quality of life (0.36). The results are shown in Figure 2, with the following legend: Subj.QOL= subjective quality of life; health.satisf= health satisfaction; phy.QOL= physical quality of life; soc.QOL= social quality of life; env.QOL= environmental quality of life; lik.fat= liking of fatty foods; cons.fat.sweet= frequency of fatty-sweet foods consumption; cons.fat.salt= frequency of fatty-savoury food consumption; RES= restraint; EXT= external eating; EMO= emotional eating; phy.accept= acceptance of physical appearance; silh.diff= body dissatisfaction; desirab= social desirability; s.seek= sensation seeking; concentr= concentration capacities; neg.feel= negative feelings.

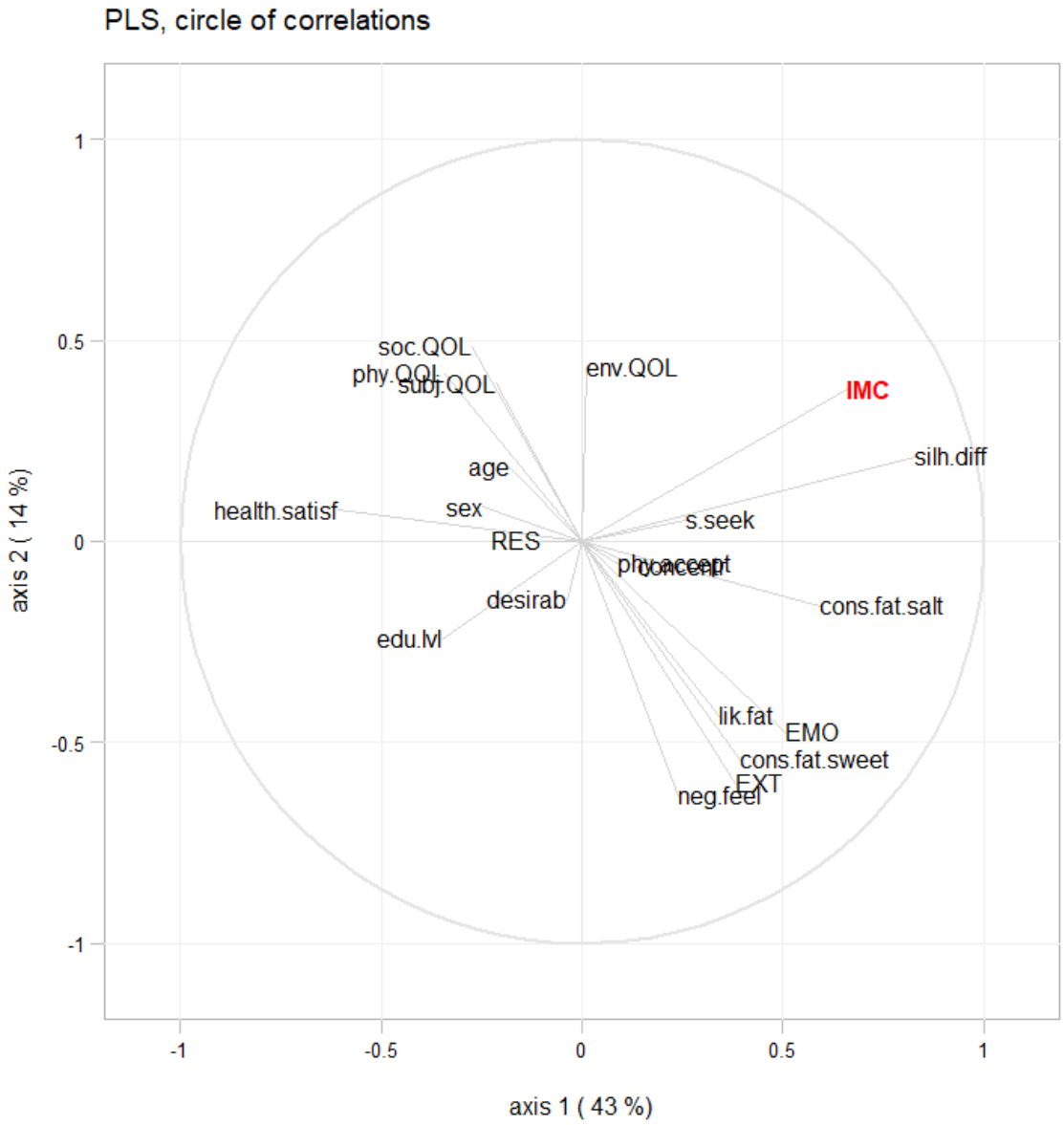


Figure 2. Circle of correlations.

Hierarchical Cluster Analysis

Three groups were investigated in terms of the participants' coordinates on the two axes that were extracted from the PLSR. Based on the results, the three clusters were named "satisfied"; "protected" and "vulnerable". The results are shown in Table 4.

Table 4. Scores (mean, SD) for each cluster and all clusters. P-value is the comparison between the three clusters. [a, b, c] Superscript letters are associated with means, different letters indicating a significant difference between groups. *p<0.05

	Cluster A "satisfied" n=32	**Cluster B "protected"** n=31	**Cluster C "vulnerable"** n=13	All clusters	Cluster, p
Weight status					
BMI	24.11 (3.67) [a]	29.66 (6.02) [b]	31.53 (8.00) [b]	27.65 (6.31)	**<.001***
Normal-weight (n, BMI)	n=18, 21.5 (1.9)	n=6, 22.0 (2.0)	n=1, 20.9 (N/A)	n=25, 21.6 (1.9)	
Overweight (n, BMI)	n=11, 26.5 (1.2)	n=12, 27.5 (1.4)	n=6, 26.5 (0.8)	n=29, 26.8 (1.3)	
Obesity (n, BMI)	n=3, 31.3 (0.6)	n=13, 35.1 (4.5)	n=6, 38.2 (6.7)	n=22, 35.5 (5.2)	
Sociodemographic variables					
Age	43.34 (9.60)	43.48 (11.62)	40.46 (11.70)	42.90 (10.74)	0.67
Sex ratio (H/F)	15/17	10/21	5/8	30/46	0.49
Educational level	3.96 (2.51)[b]	1.65 (1.84) [a]	1.77 ((2.12) [a]	2.66 (2.45)	**<.001***
Quality of life					
Subjective quality of life	3.90 (0.59) [a]	4.06 (0.5) [b]	3.38 (0.96) [a]	3.88 (0.67)	**0.007***
Health satisfaction	3.09 (0.69) [c]	2.65 (0.98) [b]	1.84 (0.69) [a]	2.70 (0.92)	**<.001***
Physical quality of life	3.19 (0.56) [b]	3.30 (0.62) [b]	2.26 (0.93) [a]	3.07 (0.75)	**<.001***
Environmental quality of life	3.73 (0.60) [b]	4.11 (0.43) [b]	3.44 (0.63) [a]	3.84 (0.59)	**<.001***
Social quality of life	3.75 (0.65) [c]	3.98 (0.59) [b]	2.84 (0.89) [a]	3.69 (0.78)	**<.001***
Food-related variables					
Liking of fatty foods	2.31 (1.22)	2.29 (1.07)	3.08 (0.95)	2.43 (1.15)	0.08
Frequency of fatty-sweet food consumption	2.69 (1.18) [a]	2.48 (1.12) [a]	4.08 (0.95) [b]	2.84 (1.24)	**<.001***
Frequency of fatty-savoury food consumption	1.81 (0.82) [a]	2.45 (1.21) [b]	3.38 (0.96) [c]	2.34 (1.15)	**<.001***
Restraint	2.76 (0.67)	2.62 (0.80)	2.78 (0.68)	2.70 (0.72)	0.71
External eating	2.65 (0.60) [b]	2.42 (0.48) [a]	3.39 (0.64) [b]	2.68 (0.65)	**<.001***
Emotional eating	2.40 (0.67) [b]	2.15 (0.88) [a]	3.60 (0.77) [b]	2.50 (0.93)	**<.001***
Body Image					
Body dissatisfaction	0.62 (0.79) [a]	1.77 (0.84) [b]	2.54 (1.05) [c]	1.42 (1.12)	**<.001***
Acceptance of physical appearance	2.87 (1.00)	2.90 (1.51)	3.31 (1.60)	2.96 (1.33)	0.59
Psychological variables					
Social desirability	2.48 (0.25)	2.42 (0.23)	2.43 (0.19)	2.45 (0.23)	0.56
Sensation seeking	2.16 (0.50)	2.41 (0.61)	2.31 (0.63)	2.29 (0.58)	0.22
Negative feelings	2.06 (1.01) [a]	1.77 (0.50) [a]	2.77 (1.16) [b]	2.07 (0.92)	**0.004***
Concentration abilities	1.87 (0.97)	1.77 (0.76)	2.23 (0.92)	1.89 (0.9)	0.29

The hierarchical cluster analysis permitted to observe three different clusters, which varied in weight status composition and in their descriptions.

Cluster A: The first cluster included 32 individuals: 18 individuals of normal weight status, 11 individuals of overweight weight status, and 3 individuals of obese weight status. This cluster had a lower BMI, a higher educational level, higher health satisfaction, and felt lower body dissatisfaction. This cluster will henceforth be referred to as the "satisfied" cluster.

Cluster B: The second cluster included 31 individuals: 6 with normal-weight, 12 with overweight, and 13 with obesity. This cluster had the highest subjective quality of life, an intermediate pattern of health satisfaction, but a high quality of social life. They had the lowest tendency towards external and emotional eating of the three clusters. They also declared feeling negative emotions less frequently. This cluster will henceforth be referred to as the "protected" cluster.

Cluster C: The third cluster included 13 individuals: 1 individual with normal-weight, 6 individuals with overweight, and 6 individuals with obesity. Of the three clusters, they had the lowest health satisfaction, and the lowest quality of life on the physical, environmental, and social aspects. Their subjective quality of life was the lowest among the three groups but did not significantly differ from the quality of life observed in the first cluster. They were more likely to declare that they frequently consume fatty foods (sweet and savoury) than the two other clusters and had the highest body dissatisfaction. Their emotional and external eating scores were the highest of the three clusters, while not being different from the first cluster. Finally, this cluster also had the highest scores in terms of negative feelings. This cluster will henceforth be referred to as the "vulnerable" cluster.

Data are summarized in Figure 3, the legend is the same as in Figure 2.

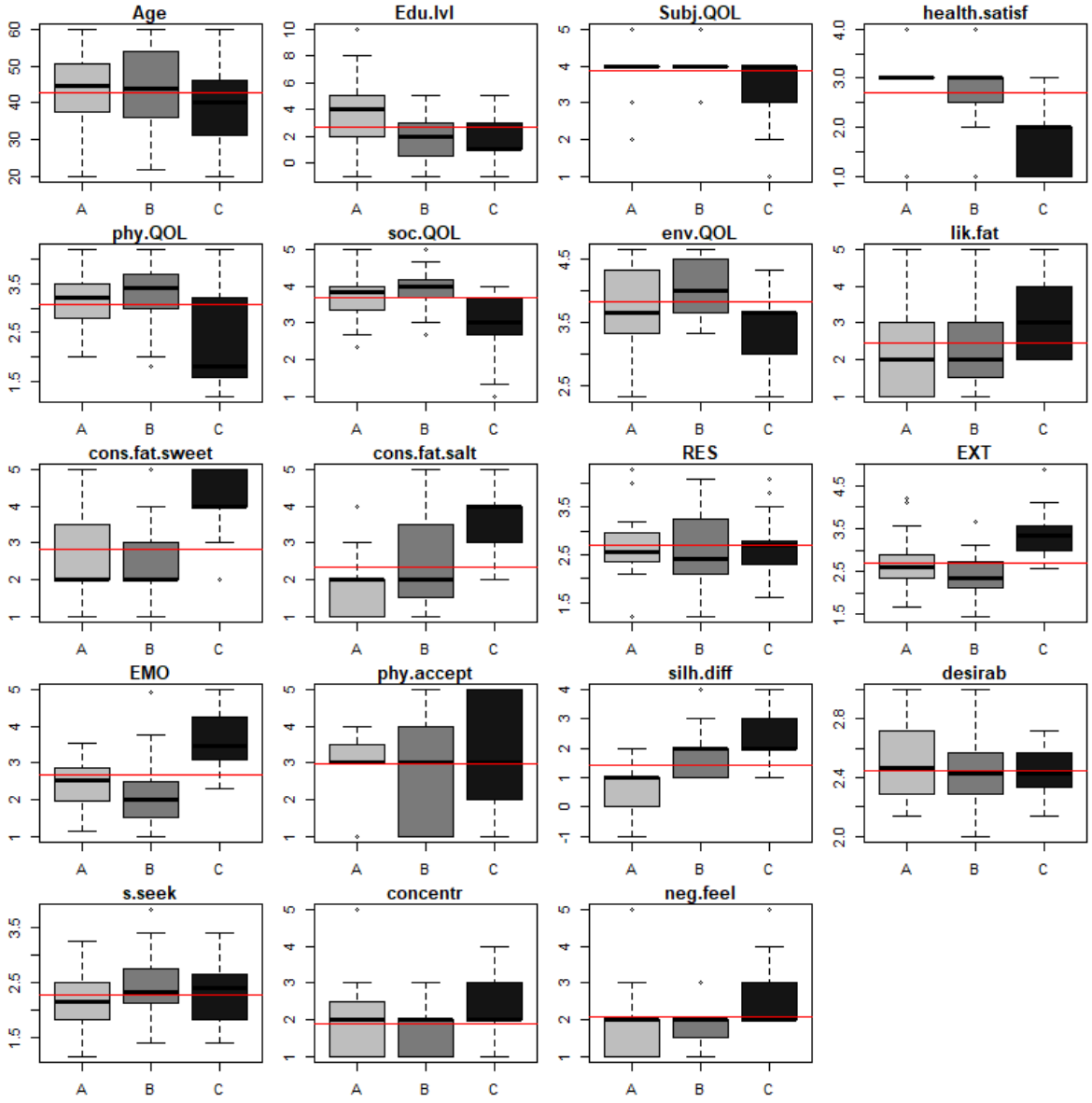


Figure 3 – Boxplot of the data from the three clusters observed. A = cluster A, B = cluster B, C = cluster C.

Discussion

Throughout our investigation, the aim was to describe several profiles found in the different weight statuses groups by selecting variables from distinct domains: sociodemographic variables, food-related variables, quality of life, and psychological aspects. The responses of individuals were first analysed regarding weight status groups (normal-weight, overweight and obesity), as well as regarding BMI as a continuum. Secondly, clusters were formed based on

the latent structure of the variables that predict BMI. Four variables (health satisfaction, frequency of fatty-savoury food consumption, body image, and sensation seeking) were found to be linked with BMI, and three clusters of individuals with various weight statuses were investigated ("satisfied", "protected", "vulnerable").

Variables associated with Body Mass Index

Health satisfaction

Health satisfaction was found to decrease as BMI increased, meaning that individuals with higher body mass were less satisfied with their health. This variable was investigated through a single item of the WHOQOL-BREF questionnaire, which aimed to evaluate the subjective perception of health status. Interestingly, though a relationship between BMI and subjective health satisfaction was observed, this observation was not reproduced with physical quality of life, which was objectively evaluated with the physical quality of life subscale from the WHOQOL-BREF. Moreover, the inclusion of participants in this study was based on the absence of major comorbidities, which are frequently observed in obesity (type 2 diabetes, cardiovascular disease, etc.). A correlation between lower health satisfaction and higher BMI could mean that individuals with a higher body mass tend to have a negative perception of their health even if they have no current physical or psychological impairments. This may be related to dietary helplessness: because individuals with obesity tend to struggle more with dietary issues, they might develop negative feelings toward their health and develop a form of learned helplessness, potentially leading to a pessimistic outlook regarding eating habits. In a study including healthy individuals with and without obesity, Carmody et al. observed that individuals with obesity had higher levels of dietary helplessness than normal-weight individuals, especially when they had a history of weight cycling (Carmody et al., 1995).

Frequency of fatty-savoury food consumption

A higher BMI was also associated with higher rates of agreement with the sentence *"I frequently consume fatty-savoury foods"*. Interestingly, there was no relationship with BMI or weight status concerning fatty-sweet foods. One can hypothesize that the examples given for sweet foods *(candies, chocolate, cake)* are more often consumed as desserts or snacks, which are usually considered as optional compared with savoury meals. Moreover, sweet foods tend

to be demonized and associated with obesity: they are also often the first target of a weight-loss diet (Fischler, 1987). According to Blundell, individuals with obesity who eat a high-fat diet are more likely to have an increased hunger toward fatty foods and reduced satiety while consuming them (Blundell et al., 2005). This tendency can be linked to incentive sensitization, meaning that food has a high motivational value that overrides satiety signals in individuals that are frequently exposed to it, potentially leading to overeating (Appelhans, 2009). According to this theory, there are higher levels of 'wanting' of foods in sensitized individuals, but not higher 'liking' (Berridge, 2009), which relates to the findings of the present experiment: some differences appeared in the frequency of consumption of fatty foods, but not in the liking of fatty foods.

Body image (ideal and dissatisfaction)

The most striking differences between weight status groups were found in two variables related to body image. More than 88% of respondents presented body dissatisfaction, and individuals with higher BMI had higher body dissatisfaction. This difference could be linked to stigmatizing experiences resulting in self-body shaming in individuals with higher weight statuses (Friedman et al., 2005). Body dissatisfaction has been linked with eating disorders in previous studies and it has an impact on psychological well-being, with emotional consequences. Having a low satisfaction with one's body could thus be considered as a risk factor for emotional distress and emotional eating (Apfeldorfer & Zermati, 2001). Moreover, individuals with obesity tended to choose a silhouette representing overweight as their ideal body, while individuals with normal-weight and with overweight tended to choose a figure representing a normal weight status as their ideal body. According to Lynch et al., 2009, choosing a higher body size as the ideal body is related to further weight loss in individuals with obesity (Lynch et al., 1997). This can be considered as a protection factor from the negative consequences of obesity.

Sensation-seeking

Individuals with higher BMI tended to have higher scores in the sensation-seeking scale from the UPPS. However, the existence of a relationship between BMI and sensation seeking was not confirmed by Kendall's correlation. The tendency to seek exciting experiences has been associated with several behavioural disorders, such as substance use disorder and bulimia, and

it has more rarely been linked to obesity (Billieux, 2012; Claes et al., 2005). Other studies have reported that higher sensation seeking is correlated with reward sensitivity, an aspect that has been targeted in the incentive-sensitization theory of obesity (Appelhans, 2009; Berridge, 2009; Berridge & Kringelbach, 2015; Joyner et al., 2017). Individuals with high sensation-seeking tend to rely more on habits and previously learnt contingencies (Dietrich et al., 2016). Those two aspects could be linked to difficulties in changing one's obesogenic habits (high energy-dense food consumption and low levels of physical activity) by an increase of hedonic eating episodes while seeking pleasurable sensations from foods.

Same weight status but various profiles?

Three clusters were described based on the data extracted from the PLSR. Age and sex ratio were comparable in the three groups. The ***"satisfied"*** cluster is described as having relatively good health and body satisfaction. Apart from their higher educational level and lower BMI, there were few differences that allowed to characterize individuals from this cluster. Individuals from the ***"protected"*** cluster were mostly individuals with overweight or obesity. Individuals from this cluster were qualified by a high subjective quality of life, as well as the highest quality of social life of the three groups. They also had lower levels of emotional and external eating. Finally, the ***"vulnerable"*** cluster contained fewer individuals than the two other clusters, and all except one were of higher weight statuses (overweight, obesity). They declared more to frequently consume savoury and sweet-fatty foods, had lower quality of life in the physical, social and environmental domains, and had higher body and health dissatisfaction. This cluster also declared feeling more negative emotions.

The "protected" and "vulnerable" clusters comprised individuals with similar BMIs. This allows to discuss two profiles in individuals of higher weight status (overweight, obesity), one associated with protective factors against bad health outcomes ("protected" cluster) and the other associated with deleterious eating styles (emotional and external eating), lower quality of life, negative feelings, and high-energy dense food consumption ("vulnerable" cluster).

These results highlight that, apart from health comorbidities, individuals with overweight and obesity might have risky eating patterns (emotional and external eating, higher frequency of fatty food consumption, negative feelings) as well as lower quality of life. However, most individuals with overweight and obesity were classified as satisfied or protected. It is interesting

to highlight that those clusters were observed on individuals that were selected to participate in this study because they were "healthy", *i.e.,* they had no major diseases or eating disorders. Thus, the clusters observed here could be different from reality, in which the presence of comorbidities could create more diversity in individuals of various weight statuses.

Our results emphasize the need for specific classifications of overweight and obesity. First, it was observed that BMI did not discriminate between the three distinct weight status groups based on psychological and quality of life aspects. It would be interesting to study these aspects on a larger sample of individuals with overweight and obesity, and to include health comorbidities in order to have a more precise insight on specific weight status categories associated with psychosocial descriptions. Secondly, the vulnerable cluster presented lower quality of life in several domains, as well as high body dissatisfaction. These psychological aspects can impair health outcomes, and are consequently of interest while classifying obesity types, even in physically healthy individuals. The results of the present study encourage clinical approaches that enable to take plural aspects of the patient's life into account during evaluation. For instance, using new classification methodologies such as proposed by the Edmonton Obesity Staging System (Sharma & Kushner, 2009) should allow the classification of patients based on their physical, psychological but also functional status, and are consequently of interest to individualize healthcare for patients with overweight or obesity.

Health and body dissatisfaction were higher in individuals with higher BMI, especially in the "vulnerable" cluster. These two variables can be linked to a history of stigmatization and learned helplessness due to past weight cycling. According to the Weight Normative Approach to Health (Tylka et al., 2014), health and body dissatisfaction are a central influence in obesity: individuals tend to internalize weight stigma, and consequently fail in their attempts to reach a "healthier" weight by having dysfunctional self-care behaviours. In order to reduce weight stigma, recent French Health Policies (Ministère des solidarités et de la santé, 2020) have implemented several measures to decrease weight stigma in individuals with obesity, as well as in the general population, such as encouraging the media to use positive images of individuals with obesity.

Strengths and limitations

One of the strengths of the present study is that several domains related to eating behaviour and obesity were investigated in individuals who were precisely measured and weighed in our laboratory. The approach that was used, namely the combination of PLSR and cluster analysis is innovative as it permitted us to create subgroups of participants based on the latent structure of the variables measured while avoiding the limits of traditional methods (*i.e.* managing multicollinearity between variables, while including a large number of variables on a small sample). Moreover, re-validating the questionnaires that were used permitted to highlight some of their limitations, and to avoid analysis based on variables with low psychometric properties, thus potentially leading to misinterpretation of results. Including the Lie Scale also permitted us to assess the tendency of respondents to present social desirability, which allowed us to consider this frequent bias in questionnaires while interpreting our results. One key limitation of our study is the composition of the experimental sample. Indeed, participants with major diseases, eating disorders, or psychoactive medical treatments were excluded from our study, leading to the selection of individuals that were as healthy as possible. Also, the use of an online survey for data collection led to exclusions due to missing data, which reduced the sample size. Replicating our findings on larger samples while including health comorbidities as well as metabolically (un)healthy phenotypes of obesity could increase reliability and lead to the validation of the current findings.

Conclusions

This study aimed to gain a better understanding of the distinct profiles that exist across the weight status spectrum. Our results show that several categories of overweight and obesity might coexist. This study allowed to demonstrate that, in a sample of healthy individuals, those with a higher BMI seemed to perceive their health as less satisfying, without evidence of physical or psychological impairment. This phenomenon can be linked with learned helplessness, in relation to exposure to weight stigma. This hypothesis was also congruent with the fact that individuals with obesity had higher levels of body dissatisfaction. The results of the present study emphasize the need for a better classification of obesity and should encourage physicians to assess maintenance and protection factors of weight status that can be observed in individuals with a higher BMI. Finally, trying to identify behavioural and psychological

patterns of functioning on larger samples might be impactful for future research with the objective of improving health care for individuals with obesity.

References

Aasheim, E. T., Aylwin, S. J. B., Radhakrishnan, S. T., Sood, A. S., Jovanovic, A., Olbers, T., & Roux, C. W. le. (2011). Assessment of obesity beyond body mass index to determine benefit of treatment. Clinical Obesity, 1(2-3), 77-84. https://doi.org/10.1111/j.1758-8111.2011.00017.x

Abdi, H. (2010). Partial least squares regression and projection on latent structure regression (PLS Regression). WIREs Computational Statistics, 2(1), 97-106. https://doi.org/10.1002/wics.51

Apfeldorfer, G., & Zermati, J. P. (2001). [Cognitive restraint in obesity. History of ideas, clinical description]. Presse medicale (Paris, France : 1983), 30(32), 1575-1580.

Appelhans, B. M. (2009). Neurobehavioral inhibition of reward-driven feeding : Implications for dieting and obesity. Obesity (Silver Spring, Md.), 17(4), 640-647. https://doi.org/10.1038/oby.2008.638

Baumann, C., Erpelding, M.-L., Régat, S., Collin, J.-F., & Briançon, S. (2010). The WHOQOL-BREF questionnaire : French adult population norms for the physical health, psychological health and social relationship dimensions. Revue D'epidemiologie Et De Sante Publique, 58(1), 33-39. https://doi.org/10.1016/j.respe.2009.10.009

Baylé, F. J., Bourdel, M. C., Caci, H., Gorwood, P., Chignon, J.-M., Adés, J., & Lôo, H. (2000). Structure factorielle de la traduction française de l'échelle d'impulsivité de Barratt (BIS-10). The Canadian Journal of Psychiatry, 45(2), 156-165. https://doi.org/10.1177/070674370004500206

Benelam, B. (2009). Satiation, satiety and their effects on eating behaviour. Nutrition Bulletin, 34(2), 126-173. https://doi.org/10.1111/j.1467-3010.2009.01753.x

Berridge, K. C. (2009). 'Liking' and 'wanting' food rewards : Brain substrates and roles in eating disorders. Physiology & Behavior, 97(5), 537-550. https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2009.02.044

Berridge, K. C., & Kringelbach, M. L. (2015). Pleasure systems in the brain. Neuron, 86(3), 646-664. https://doi.org/10.1016/j.neuron.2015.02.018

Billieux, J. (2012). Impulsivité et psychopathologie : Une approche transdiagnostique. Revue Francophone de Clinique Comportementale et Cognitive, 17, 42.

Blundell, J. E., Stubbs, R. J., Golding, C., Croden, F., Alam, R., Whybrow, S., Le Noury, J., & Lawton, C. L. (2005). Resistance and susceptibility to weight gain : Individual variability in

response to a high-fat diet. Physiology & Behavior, 86(5), 614-622. https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2005.08.052

Bouvard, M., Aulard-Jaccod, J., Pessonneaux, S., Hautekeete, M., & Rogé, B. (2010). Étude du questionnaire de personnalité d'Eysenck révisé et abrégé (EPQR-A) dans une population d'étudiants. L'Encéphale, 36(6), 510-512. https://doi.org/10.1016/j.encep.2010.02.006

Brown, T. A. (2015). Confirmatory factor analysis for applied research, 2nd ed (p. xvii, 462). The Guilford Press.

Brunault, P., Rabemampianina, I., Apfeldorfer, G., Ballon, N., Couet, C., Réveillère, C., Gaillard, P., & El-Hage, W. (2015). The Dutch Eating Behavior Questionnaire : Further psychometric validation and clinical implications of the French version in normal weight and obese persons. La Presse Médicale, 44(12), e363-e372. https://doi.org/10.1016/j.lpm.2015.03.028

Bulik, C. M., Wade, T. D., Heath, A. C., Martin, N. G., Stunkard, A. J., & Eaves, L. J. (2001). Relating body mass index to figural stimuli : Population-based normative data for Caucasians. International Journal of Obesity, 25(10), 1517-1524. https://doi.org/10.1038/sj.ijo.0801742

Callahan, S., Rousseau, A., Knotter, A., Bru, V., Daniel, M., CUETO, C., LEVASSEUR, M., CUVELLIEZ, F., PIGNOL, L., O'HALLORAN, M. S., CHABROL, H., & Centre d'Etudes et de Recherches en Psychopathologie. Université de Toulouse Ii. Le Mirail. Toulouse. FRA. (2003). Les troubles alimentaires : Présentation d'un outil de diagnostic et résultats d'une étude épidémiologique chez les adolescents. L'ENCEPHALE, 29(3), 239-247. Base documentaire BDSP - Banque de données en santé publique.

Carmody, T. P., Brunner, R. L., & Jeor, S. T. S. (1995). Dietary helplessness and disinhibition in weight cyclers and maintainers. International Journal of Eating Disorders, 18(3), 247-256. https://doi.org/10.1002/1098-108X(199511)18:3<247::AID-EAT2260180306>3.0.CO;2-W

Claes, L., Vandereycken, W., & Vertommen, H. (2005). Impulsivity-related traits in eating disorder patients. Personality and Individual Differences, 39(4), 739-749. https://doi.org/10.1016/j.paid.2005.02.022

Collaboration, P. S. (2009). Body-mass index and cause-specific mortality in 900 000 adults : Collaborative analyses of 57 prospective studies. The Lancet, 373(9669), 1083-1096. https://doi.org/10.1016/S0140-6736(09)60318-4

Dietrich, A., de Wit, S., & Horstmann, A. (2016). General Habit Propensity Relates to the Sensation Seeking Subdomain of Impulsivity But Not Obesity. Frontiers in Behavioral Neuroscience, 10. https://doi.org/10.3389/fnbeh.2016.00213

Everitt, B. S., Landau, S., Leese, M., & Stahl, D. (2011). Hierarchical clustering. In Cluster Analysis (5th Edition). Wiley-Blackwell.

Fischler, C. (1987). Attitudes Towards Sugar and Sweetness in Historical and Social Perspective. In J. Dobbing (Éd.), Sweetness (p. 83-98). Springer.

Francis, L. J., Brown, L. B., & Philipchalk, R. (1992). The development of an abbreviated form of the revised Eysenck personality questionnaire (EPQR-A) : Its use among students in England, Canada, the U.S.A. and Australia. Personality and Individual Differences, 13(4), 443-449. https://doi.org/10.1016/0191-8869(92)90073-X

Friedman, K. E., Reichmann, S. K., Costanzo, P. R., Zelli, A., Ashmore, J. A., & Musante, G. J. (2005). Weight Stigmatization and Ideological Beliefs : Relation to Psychological Functioning in Obese Adults. Obesity Research, 13(5), 907-916. https://doi.org/10.1038/oby.2005.105

Haute Autorité de Santé. (2011). Surpoids et obésité de l'adulte : Prise en charge médicale de premier recours Recommandations pour la pratique clinique—Argumentaire [Recommandations pour la pratique clinique]. Haute Autorité de Santé. https://www.has-sante.fr/upload/docs/application/pdf/2011-09/2011_09_30_obesite_adulte_argumentaire.pdf

Hebert, J. R., Hurley, T. G., Peterson, K. E., Resnicow, K., Thompson, F. E., Yaroch, A. L., Ehlers, M., Midthune, D., Williams, G. C., Greene, G. W., & Nebeling, L. (2008). Social Desirability Trait Influences on Self-Reported Dietary Measures among Diverse Participants in a Multicenter Multiple Risk Factor Trial. The Journal of Nutrition, 138(1), 226S-234S. https://doi.org/10.1093/jn/138.1.226S

Jackson, D. L., Gillaspy, J. A., & Purc-Stephenson, R. (2009). Reporting practices in confirmatory factor analysis : An overview and some recommendations. Psychological Methods, 14(1), 6-23. https://doi.org/10.1037/a0014694

Jáuregui-Lobera, I., & Montes-Martínez, M. (2020). Emotional Eating and Obesity. Psychosomatic Medicine. https://doi.org/10.5772/intechopen.91734

Joyner, M. A., Kim, S., & Gearhardt, A. N. (2017). Investigating an Incentive-Sensitization Model of Eating Behavior : Impact of a Simulated Fast-Food Laboratory. Clinical Psychological Science, 5(6), 1014-1026. https://doi.org/10.1177/2167702617718828

Komaroff, M. (2016). For Researchers on Obesity : Historical Review of Extra Body Weight Definitions [Research article]. Journal of Obesity. https://doi.org/10.1155/2016/2460285

Lampuré, A., Castetbon, K., Deglaire, A., Schlich, P., Péneau, S., Hercberg, S., & Méjean, C. (2016). Associations 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, 13(1), 74. https://doi.org/10.1186/s12966-016-0406-6

Liu, J., Bai, Y., Kang, J., & An, N. (2006). A New Approach to Hierarchical Clustering Using Partial Least Squares. 2006 International Conference on Machine Learning and Cybernetics, 1125-1131. https://doi.org/10.1109/ICMLC.2006.258591

Lynch, J. W., Kaplan, G. A., & Salonen, J. T. (1997). Why do poor people behave poorly? Variation in adult health behaviours and psychosocial characteristics by stages of the socioeconomic lifecourse. Social Science & Medicine (1982), 44(6), 809-819. https://doi.org/10.1016/s0277-9536(96)00191-8

Major, B., Hunger, J. M., Bunyan, D. P., & Miller, C. T. (2014). The ironic effects of weight stigma. Journal of Experimental Social Psychology, 51, 74-80. https://doi.org/10.1016/j.jesp.2013.11.009

Martin, P. (2008). L'évaluation clinique standardisée en psychiatrie, 1 : Psychopathologie générale, dépression, anxiété et anxio-dépression (G. Julien-Daniel, Éd.). Laboratoires Pierre Fabre. http://ecsp.fr

Mas, M., Brindisi, M.-C., Chabanet, C., & Chambaron, S. (2020). Implicit food odour priming effects on reactivity and inhibitory control towards foods. PLOS ONE, 15(6), e0228830. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0228830

Mas, M., Brindisi, M.-C., Chabanet, C., Nicklaus, S., & Chambaron, S. (2019). Weight Status and Attentional Biases Toward Foods : Impact of Implicit Olfactory Priming. Frontiers in Psychology, 10. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.01789

Ministère des solidarités et de la santé. (2020). Lancement du 4ème Programme national nutrition santé 2019-2023. Minsitère des solidarités et de la santé. https://solidarites-sante.gouv.fr/actualites/presse/communiques-de-presse/article/lancement-du-4eme-programme-national-nutrition-sante-2019-2023

Mintz, L. B., O'Halloran, M. S., Mulholland, A. M., & Schneider, P. A. (1997). Questionnaire for Eating Disorder Diagnoses : Reliability and validity of operationalizing DSM—IV criteria into a self-report format. Journal of Counseling Psychology, 44(1), 63-79. https://doi.org/10.1037/0022-0167.44.1.63

Mobbs, O., Crépin, C., Thiéry, C., Golay, A., & Van der Linden, M. (2010). Obesity and the four facets of impulsivity. Patient Education and Counseling, 79(3), 372-377. https://doi.org/10.1016/j.pec.2010.03.003

Moore, C. F., Sabino, V., Koob, G. F., & Cottone, P. (2017). Pathological Overeating : Emerging Evidence for a Compulsivity Construct. Neuropsychopharmacology, 42(7), 1375-1389. https://doi.org/10.1038/npp.2016.269

Morris, T. P., White, I. R., & Royston, P. (2014). Tuning multiple imputation by predictive mean matching and local residual draws. BMC Medical Research Methodology, 14(1), 75. https://doi.org/10.1186/1471-2288-14-75

Patton, J. H., Stanford, M. S., & Barratt, E. S. (1995). Factor structure of the Barratt impulsiveness scale. Journal of Clinical Psychology, 51(6), 768-774.

Pelissolo, A. (2008). L'évaluation clinique standardisée en psychiatrie, 1 : Psychopathologie générale, dépression, anxiété et anxio-dépression (G. Julien-Daniel, Éd.). Laboratoires Pierre Fabre. http://ecsp.fr

R Development Core Team. (2008). R: A Language and Environment for Statistical Computing (3.4.3) [Computer software]. R Foundation for Statistical Computing. http://www.r-project.org%7D%2C/

Rosseel, Y. (2012). lavaan : An R Package for Structural Equation Modeling. Journal of Statistical Software, 48(1), 1-36. https://doi.org/10.18637/jss.v048.i02

Sanchez, G. (2012). plsdepot : Partial Least Squares (PLS) Data Analysis Methods (0.1.17) [Computer software]. https://CRAN.R-project.org/package=plsdepot

Sarwer, D. B., & Polonsky, H. M. (2016). The Psychosocial Burden of Obesity. Endocrinology and Metabolism Clinics of North America, 45(3), 677-688. https://doi.org/10.1016/j.ecl.2016.04.016

Segev, E. (2010). 4—Users and uses of Google's information. In E. Segev (Éd.), Google and the Digital Divide (p. 75-110). Chandos Publishing. https://doi.org/10.1016/B978-1-84334-565-7.50004-6

Sharma, A. M., & Kushner, R. F. (2009). A proposed clinical staging system for obesity. International Journal of Obesity, 33(3), 289-295. https://doi.org/10.1038/ijo.2009.2

Stunkard, A. J., Sørensen, T., & Schulsinger, F. (1983). Use of the Danish Adoption Register for the study of obesity and thinness. Research Publications - Association for Research in Nervous and Mental Disease, 60, 115-120.

Tabatabaee, H. R., Rezaianzadeh, A., & Jamshidi, M. (2018). Mediators in the Relationship between Internet Addiction and Body Mass Index : A Path Model Approach Using Partial Least Square. Journal of Research in Health Sciences, 18(3), Article 3. https://doi.org/10.34172/jrhs184163

The WHOQOL Group. (1998). Development of the World Health Organization WHOQOL-BREF quality of life assessment. Psychological Medicine, 28(3), 551-558. https://doi.org/10.1017/s0033291798006667

Tomiyama, A. J., Hunger, J. M., Nguyen-Cuu, J., & Wells, C. (2016). Misclassification of cardiometabolic health when using body mass index categories in NHANES 2005–2012. International Journal of Obesity, 40(5), 883-886. https://doi.org/10.1038/ijo.2016.17

Tylka, T. L., Annunziato, R. A., Burgard, D., Daníelsdóttir, S., Shuman, E., Davis, C., & Calogero, R. M. (2014). The Weight-Inclusive versus Weight-Normative Approach to Health : Evaluating the Evidence for Prioritizing Well-Being over Weight Loss. Journal of Obesity, 2014. https://doi.org/10.1155/2014/983495

van Strien, T. (2018). Causes of Emotional Eating and Matched Treatment of Obesity. Current Diabetes Reports, 18(6). https://doi.org/10.1007/s11892-018-1000-x

van Strien, T., Frijters, J. E. R., Bergers, G. P. A., & Defares, P. B. (1986). The Dutch Eating Behavior Questionnaire (DEBQ) for assessment of restrained, emotional, and external eating behavior. International Journal of Eating Disorders, 5(2), 295-315. https://doi.org/10.1002/1098-108X(198602)5:2<295::AID-EAT2260050209>3.0.CO;2-T

Whiteside, S. P., & Lynam, D. R. (2001). The Five Factor Model and impulsivity : Using a structural model of personality to understand impulsivity. Personality and Individual Differences, 30(4), 669-689. https://doi.org/10.1016/S0191-8869(00)00064-7

WHO. (2020). Obesity and overweight. World Health Organization. https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/obesity-and-overweight

Wieland, A., Durach, C. F., Kembro, J., & Treiblmaier, H. (2017). Statistical and judgmental criteria for scale purification. Supply Chain Management: An International Journal, 22(4), 321-328. https://doi.org/10.1108/SCM-07-2016-0230

VI – 2. Points clés et conclusions :

Nos résultats montrent que plus l'IMC est élevé, plus l'insatisfaction vis-à-vis de la santé, l'insatisfaction corporelle, la recherche de sensations associée à l'impulsivité et la fréquence de consommation d'aliments gras salés sont élevées.

Les résultats de cette étude mettent également en évidence **différents profils d'individus,** indépendamment du statut pondéral. Deux clusters d'individus que l'on nommera « cluster vulnérable » et « cluster protégé », avec des IMC similaires ont été observés. Ces résultats témoignent du fait que certains individus de statut pondéral élevé pourraient avoir des facteurs de protection face aux conséquences négatives de l'obésité (à savoir une qualité de vie élevée, et un ressenti d'émotions négatives moins fréquents), tandis que d'autres pourraient avoir des facteurs aggravants l'obésité (style alimentaire externaliste, émotionnel, émotions négatives, moins bonne qualité de vie). Cela appuie l'importance de mieux catégoriser les différents types d'obésité afin de mieux y répondre par le soin, ou encore la prévention, comme le proposent les nouvelles classifications de l'obésité qui utilisent des critères plus variés que l'IMC pour caractériser les patients de façon standardisée (Sharma & Kushner, 2009).

Conclusion

Nos résultats démontrent l'importance d'établir des profils psychologiques d'individus afin de mieux comprendre la variabilité qui existe entre différents individus en surpoids ou en obésité. Répliquer ces résultats sur un plus grand nombre d'individus pourrait permettre de mieux comprendre quels sont les différents sous-types d'obésité et de surpoids pour, in fine, mieux cibler les besoins des individus, notamment en termes de traitement et de prévention.

CHAPITRE VII – Discussion

Le premier objectif de ce travail était de caractériser le traitement de l'information alimentaire ascendant (bottom-up) et descendant (top-down) des adultes en fonction de leur statut pondéral, par l'investigation des biais cognitifs. Le second objectif était d'observer les effets de stimuli alimentaires attentivement et non-attentivement perçus sur ces processus afin de mieux comprendre l'influence d'un environnement obésogène sur le traitement de l'information alimentaire. Le troisième objectif de cette thèse était de caractériser les capacités cognitives et olfactives des individus normo-pondéraux, en surpoids et en obésité, ainsi que certaines caractéristiques psychologiques qui pouvaient moduler le traitement de l'information. En effet, ces trois types de variables semblaient être présentes de manière différenciée chez les individus normo-pondéraux, en surpoids, et en obésité, mais aucun consensus scientifique n'a été établi pour le moment. Ainsi, ce travail de thèse vise à obtenir une compréhension sensorielle, cognitive, et psychologique des différentes catégories de statut pondéral.

Le **chapitre I** posait les bases théoriques de la problématique dans laquelle s'est inscrit ce travail : les différents aspects de l'obésité, ainsi que l'interaction individu-environnement qui permettent d'expliquer l'émergence de tendances cognitives et comportementales obésogènes. Au cours des **chapitres II à VI**, des travaux expérimentaux ont été menés et les résultats seront discutés dans le présent chapitre au regard de deux points principaux : le traitement de l'information alimentaire commun à tous les individus et les spécificités liées au statut pondéral qui ont pu être observées. Puis, les forces et limites de ce travail seront ensuite détaillées dans le **chapitre VIII**, afin de pouvoir mettre en avant des perspectives de recherches et d'applications possibles des résultats observés en termes de santé.

VII – 1. Le traitement de l'information alimentaire

VII – 1. 1. Biais cognitifs : biais attentionnels, déficit de contrôle inhibiteur et réactivité

L'hypothèse de base concernant le traitement de l'information alimentaire était que les individus en surpoids et en obésité pouvaient présenter des biais cognitifs[20] (bottom-up : biais attentionnels d'orientation, **chapitre II** et top-down : déficit de contrôle inhibiteur, **chapitre III**) lorsqu'ils étaient confrontés à des stimuli alimentaires. Bien que des résultats permettant de différencier les individus en fonction de leur statut pondéral aient été observés, cette section va dans un premier temps discuter des aspects communs du traitement cognitif qui ont été mis en évidence dans ces travaux, afin de permettre de mieux détailler ultérieurement ce en quoi ces traitements diffèrent en fonction du statut pondéral. Pour rappel, nous nous attendions à ce que les individus en obésité présentent des biais cognitifs (biais attentionnel en faveur des aliments, et déficit de contrôle inhibiteur face aux aliments) exacerbés en comparaison avec des individus de statut pondéral « normal ». Les résultats obtenus n'ont pas permis de valider ces hypothèses : lorsque les participants n'étaient pas amorcés avec une odeur non-attentivement perçue, aucun biais cognitif spécifique au statut pondéral n'a pu être observé.

Rappel des principaux résultats observés concernant le traitement de l'information alimentaire commun à tous les individus :

- Tous les individus présentaient des biais attentionnels accrus face aux images d'aliments. Cela signifie que leur attention s'orientait préférentiellement, et de façon automatique vers les aliments par rapport à des stimuli plus neutres, surtout si ces aliments étaient à haute densité énergétique. Par ailleurs, lorsque deux images d'aliments apparaissaient simultanément face à l'individu, l'une représentant une image d'aliment à haute densité énergétique, et l'autre représentant une image d'aliment à faible densité énergétique, l'attention de l'individu s'orientait automatiquement vers les aliments à haute densité énergétique. **Ces biais attentionnels traduisent un effet des stimuli alimentaires sur les processus bottom-up.**
- De façon similaire, et contrairement à nos hypothèses, un déficit de contrôle inhibiteur a été observé face aux aliments indépendamment du statut pondéral. Les individus avaient un moindre contrôle inhibiteur face aux images d'aliments, surtout si ces aliments étaient à haute densité énergétique, et surtout en situation de charge cognitive.

[20]La définition de biais cognitifs se trouve en **chapitre 1, section I – 2. 4.**

Ce déficit de contrôle inhibiteur traduit un effet des stimuli alimentaires sur les processus top-down.

- Par ailleurs, tous les individus étaient plus rapides à détecter les images d'aliments que les images d'objets. Les images d'aliments à faible densité énergétique étaient plus rapidement détectées que les images d'aliments à haute densité énergétique.

VII – 1. 1. 1. Biais attentionnel envers les aliments

Comme nous l'avons vu dans le **chapitre II**, tous les individus orientaient automatiquement leur attention vers les aliments, surtout si ceux-ci étaient à haute densité énergétique. Cette orientation initiale de l'attention permet aux stimuli alimentaires d'être pris en compte prioritairement dans les traitements de l'information. Ils sont donc favorisés et plus à même d'activer des représentations mentales rapidement par rapport aux stimuli neutres. Les aliments sont également plus à même de bénéficier d'un traitement cognitif approfondi. De plus, l'attention était automatiquement orientée vers les aliments à haute densité énergétique lorsque ceux-ci étaient présentés simultanément à un aliment à faible densité énergétique. Ces éléments vont dans le sens d'un biais attentionnel envers les aliments qui serait un processus naturel et commun à tous les individus. Bien que certaines études aient observé des différences de biais attentionnels (Castellanos et al., 2009; Nijs et al., 2010; Nijs & Franken, 2012; Werthmann et al., 2011; Yokum et al., 2011), entre les individus de statut pondéraux différents, les résultats du présent travail obtenus sur des hommes et femmes sans comorbidité majeure permettent de conclure qu'il s'agirait d'un processus commun à tous les individus.

Une théorie de Manohar explique qu'en présence de stimuli associés à la récompense, la recherche visuelle se manifesterait par une stratégie d'engagement et de recherche (*search and engage strategy*), un phénomène attentionnel qui se rapproche de la recherche de nourriture observée chez les animaux. L'attention s'engagerait vers le stimulus le plus intéressant pour les objectifs de l'être humain, c'est-à-dire dans le cas de l'alimentation, les stimuli à haute densité énergétique qui sont associés à la récompense et nécessaires à la survie. Le focus attentionnel va s'orienter initialement vers un stimulus, ce qui va permettre de récolter des informations sur la valeur de ce stimulus. Si la valeur du stimulus au centre de l'attention est inférieure à la valeur attendue des stimuli alentours, l'individu va ré-orienter son attention (*search*) jusqu'à focaliser son attention sur le stimulus avec la valeur la plus haute (*engage*). Le focus attentionnel va ainsi s'orienter d'un stimulus à un autre jusqu'à trouver l'option la plus optimale pour l'individu

(Manohar & Husain, 2013). Nous pouvons rapprocher ce phénomène des biais attentionnels envers les aliments mesurés dans le **chapitre II**.

VII – 1. 1. 2. Déficit de contrôle inhibiteur face aux aliments

Dans le **chapitre III**, tous les individus avaient un déficit de contrôle inhibiteur face aux aliments, notamment lorsque ceux-ci étaient des aliments à haute densité énergétique. Ce déficit était mesuré par le nombre de réactions erronées (erreurs de commission) aux images d'aliments, c'est-à-dire la propension des participants à détecter impulsivement les images d'aliments alors que la consigne de la tâche indiquait qu'il fallait les ignorer. De plus, l'affaiblissement du contrôle inhibiteur était médié par la charge cognitive : en effet, lorsque la tâche était plus complexe (prise en compte d'une nouvelle consigne dans la tâche), les individus faisaient plus d'erreurs face aux aliments, mais pas face aux objets. En prenant cet aspect en lien avec la théorie de la sensibilisation incitative (Appelhans, 2009; Berridge et al., 2010; Price et al., 2015; T. E. Robinson & Berridge, 1993; Volkow et al., 2011), il semblerait qu'un biais d'approche fort envers les aliments nécessite plus de ressources cognitives pour que le contrôle inhibiteur soit efficace. Les résultats de nos travaux (**chapitre II**) indiquent que ce déficit de contrôle inhibiteur face aux aliments est commun pour tous les individus, et non plus important pour les individus en obésité, contrairement à ce qu'avancent les travaux autour de la théorie de la sensibilisation incitative. Ainsi, les individus sensibilisés aux aliments pourraient davantage correspondre à un profil particulier de l'obésité qu'à l'obésité en tant que tel : des individus plus sensibles à la récompense et plus impulsifs caractérisés par une faible restriction alimentaire (Price et al., 2015, 2016).

VII – 1. 1. 3. Réactivité accrue face aux aliments

Une plus grande réactivité face aux stimuli alimentaires se traduisait par des temps de réaction plus courts pour détecter les images d'aliments, comparativement aux images d'objets dans nos travaux (**chapitre III**). La réactivité accrue face aux aliments témoignait d'un traitement plus rapide des images d'aliments pour tous les individus, ce qui est interprété comme un biais d'approche (Meule, 2017; Meule et al., 2014; Murphy et al., 1999). Les images à haute densité énergétique semblaient être moins rapidement détectées que les images d'aliments à faible densité énergétique, ce qui peut s'expliquer par un maintien du focus attentionnel sur les aliments associés à la récompense qui est plus long, Ce résultat est congruent avec Kong et al.,

2015 (Kong et al., 2015). En effet, les aliments à haute densité énergétique étant saillants, ils peuvent constituer des distracteurs amenant les individus à réagir plus lentement car ils vont attirer et maintenir le focus attentionnel (Murphy et al., 1999). Cette idée est également congruente avec la théorie de Manohar mentionnée plus haut : les individus sont engagés attentionnellement envers les stimuli saillants et associés à la récompense, ce qui peut ralentir leur réaction (Manohar & Husain, 2013) (**Figure 13**).

Les aliments à haute densité énergétique pourraient ainsi bénéficier d'un traitement cognitif plus rapide, mais aussi plus approfondi que les aliments à faible densité énergétique : ils suscitent un biais attentionnel d'orientation et vont par la suite capter le focus attentionnel plus longtemps, ce qui permettrait d'expliquer des temps de réaction plus longs. Les aliments à faible densité énergétique bénéficient eux aussi d'un traitement de l'information privilégiée car ils suscitent un biais attentionnel d'orientation par rapport aux stimuli neutres. Leur valeur calorique étant plus faible, donc moins associée à la récompense que les aliments à haute densité énergétique, ils maintiennent moins le focus attentionnel et sont donc détectés plus rapidement. (**Figure 13**)

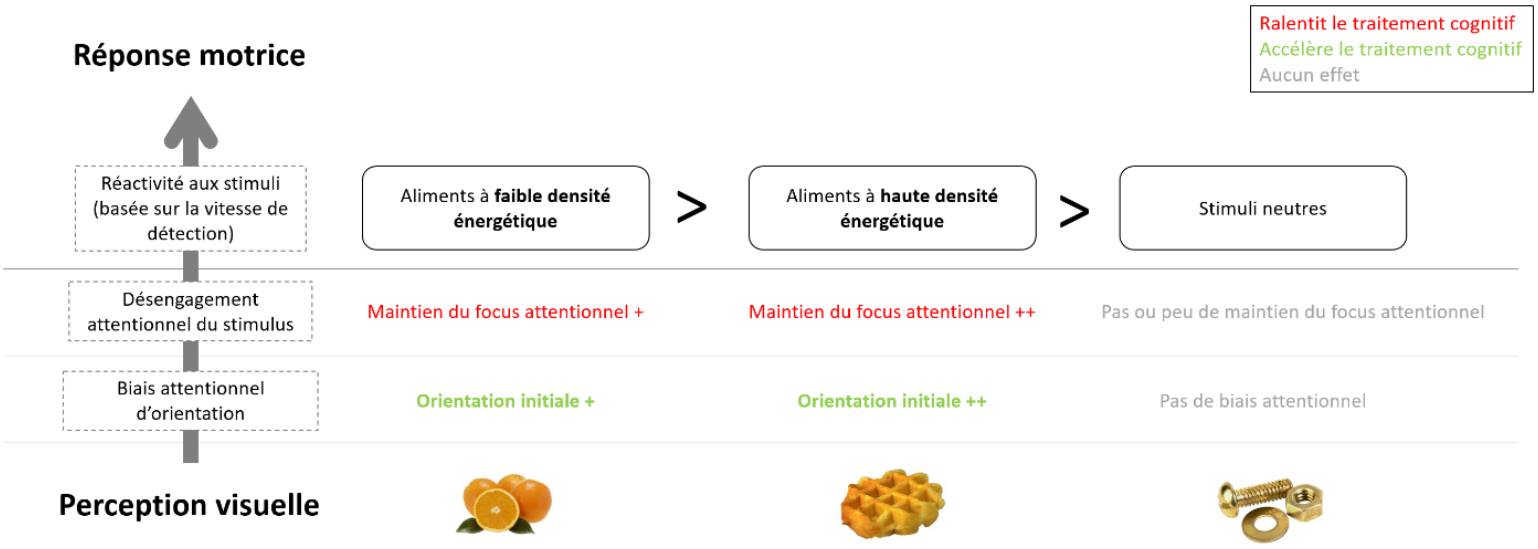


Figure 13 - Représentation schématique du traitement attentionnel « bottom-up » des stimuli en fonction des processus impliqués (orientation de l'attention, maintien du focus attentionnel, vitesse de détection). Références de la figure : biais attentionnel (Mas et al., 2019) ; réactivité (Mas et al., 2020)

VII – 1. 1. 4. Un biais d'approche commun

Selon la théorie de la sensibilité au renforcement (Corr, 2008) ,deux systèmes expliqueraient le comportement humain : l'un, centré sur l'approche (*Behavioral Approach System – BAS*), et l'autre sur l'inhibition (*Behavioral Inhibition System - BIS*). Ces deux systèmes co-existeraient au sein d'un même individu et seraient en interaction. Le système d'approche comportementale serait basé sur des mécanismes de conditionnement positif, c'est-à-dire que les individus auraient une tendance à aller vers les stimuli associés à une conséquence positive entraînant la récompense (sensibilité au renforcement positif). Le système d'inhibition serait associé à des mécanismes de conditionnement négatif, c'est-à-dire que les individus auraient tendance à éviter les stimuli qui sont en lien avec une conséquence négative (sensibilité à la punition). Ces deux systèmes sont plus ou moins activés au sein d'un même individu : les individus impulsifs et faiblement anxieux auraient un système d'approche comportemental prédominant, tandis que les individus anxieux et faiblement impulsifs auraient un système d'inhibition plus actif (Corr, 2002). Selon la théorie de la sensibilisation incitative dans l'obésité (*incentive sensitization theory*, Appelhans, 2009; Berridge, 2009; Berridge et al., 2010; Volkow et al., 2011, détaillée en **chapitre I – section 2 . 4. 2**), les individus en obésité seraient plus sensibles aux indices alimentaires : ils auraient un système d'approche suractivé, et un système d'inhibition plus faible les faisant aller vers les aliments de façon exacerbée (Horstmann et al., 2015; Kakoschke et al., 2015; Volkow & Wise, 2005). Contrairement à la littérature, les trois spécificités de traitement cognitif (biais attentionnels, déficit de contrôle inhibiteur, réactivité accrue) face aux aliments qui ont été caractérisés dans les **chapitres II et III** traduisent un biais général d'approche face aux aliments, c'est-à-dire, un biais commun à tous les individus, indépendamment du statut pondéral (**Figure 14**). Ce biais d'approche commun appuie également le fait que tous les individus sont vulnérables à un environnement obésogène : dans un contexte de choix alimentaire, des études montrent que l'effet de la saillance des produits sur la capture attentionnelle augmente la probabilité que les produits qui attirent l'attention soient choisis pour être achetés (Peschel et al., 2019). Ainsi, la saillance des aliments à haute densité énergétique dans un environnement obésogène pourrait amener les individus à privilégier ces aliments de moins bonne qualité nutritionnelle dans leurs choix alimentaires (Cohen, 2008a; Spence et al., 2016).

Dans une perspective évolutive, ce phénomène de saillance est utile : dans un environnement où les ressources énergétiques sont rares, il est important que le système cognitif soit pré-câblé

afin de détecter les aliments les plus caloriques dans l'espace (biais attentionnel en faveur des aliments à haute densité énergétique), et de les obtenir rapidement dans le temps (réactivité accrue) afin de maximiser les chances de survie de l'individu (Appelhans, 2009; Spence et al., 2016). Le biais d'approche ainsi observé indépendamment du statut pondéral des individus appuie l'hypothèse selon laquelle le traitement de l'information alimentaire est prioritaire dans les traitements cognitifs (**Figure 14**), car il est lié à des mécanismes de préservation de l'espèce.

De par ces trois résultats (biais attentionnel, réactivité accrue, déficit de contrôle inhibiteur), **le biais d'approche observé valide la saillance attentionnelle** (qui attire et maintient l'attention) **et cognitive (**qui nécessite plus de ressources cognitives pour être inhibé) **des aliments,** surtout lorsqu'ils sont à haute densité énergétique. Finalement, en termes de processus, le fait que les participants aient un biais attentionnel ainsi qu'une réactivité accrue face aux aliments semble accélérer et faciliter les processus bottom-up. Cette activation bottom-up très forte va amoindrir le contrôle inhibiteur (processus top-down) face aux aliments : il sera donc moins efficace (**Figure 14**)

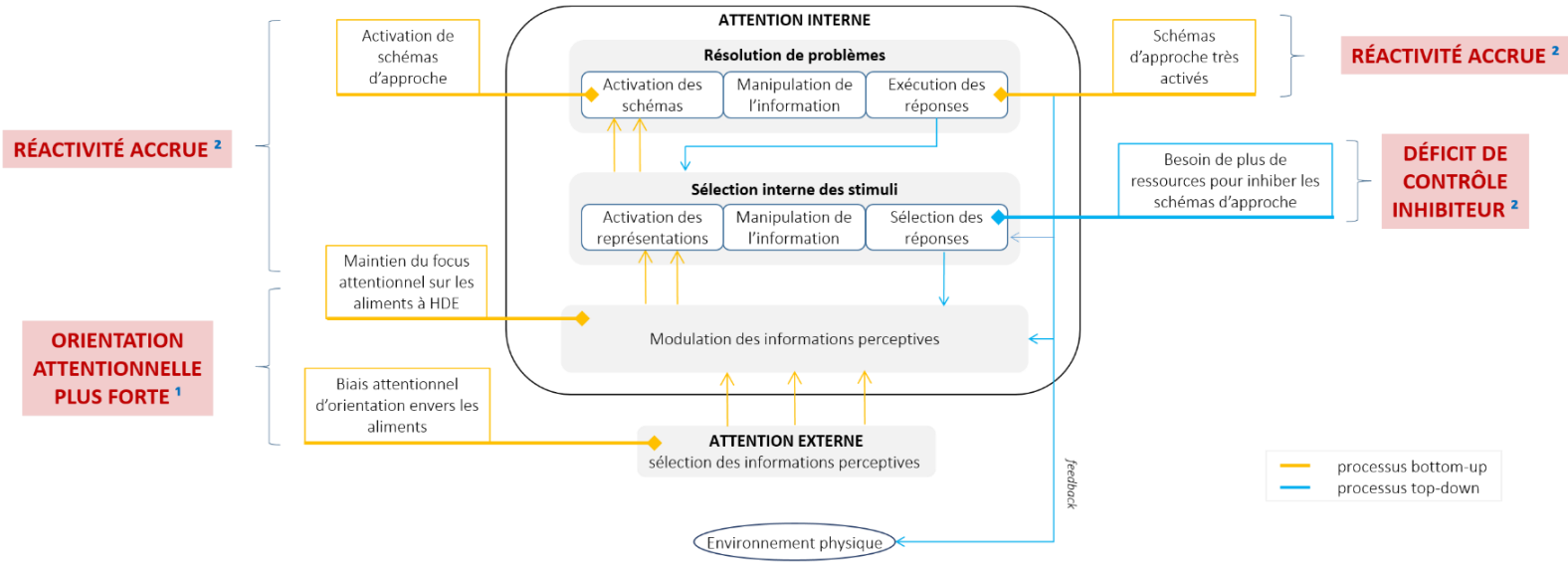


Figure 14 - Modèle du traitement de l'information alimentaire et illustration du biais d'approche. Le biais attentionnel envers les aliments et la réactivité accrue face aux aliments vont amoindrir le contrôle inhibiteur, entraînant un plus grand déficit de contrôle inhibiteur face aux aliments que face aux stimuli neutres. Les flèches jaunes représentent les processus bottom-up, tandis que les flèches bleues représentent les processus top-down. Références de la figure : [1] Mas et al., 2019 ; [2] Mas et al., 2020.

VII – 1. 2. Effets des aliments sur les processus automatiques et contrôlés

La théorie des systèmes duels (voir **chapitre I – Section 2. 3. 1.**) postule l'existence de deux systèmes sous-tendant le comportement : l'un, automatique peu coûteux en ressources cognitives et dirigé par des processus affectifs et motivationnels (système 1), l'autre, contrôlé, nécessitant plus de ressources cognitives et dirigé par des décisions conscientes (système 2) (pour une revue, voir Frankish, 2010). Ces deux systèmes sont sous-tendus par une intrication de processus bottom-up (processus ascendants, guidés par les stimuli de l'environnement pour influencer la cognition) et top-down (processus descendants, guidés par l'individu).

La saillance des aliments à haute densité énergétique semble prendre part au **système 1 :** des tendances liées à la recherche de plaisir (aspects affectifs et motivationnels) favorisent le traitement de ces stimuli de manière automatique. Ces tendances d'approche automatiques face aux aliments se manifestent par un biais attentionnel et une réactivité accrue, qui constituent une réponse prédominante pour l'individu. La réponse prédominante d'approche face aux aliments est plus difficile à inhiber pour les individus. Ainsi, **le système 2** aura plus de difficultés à exercer un contrôle efficace car il aura plus de mal à résister aux interférences, ce qui entraîne un déficit de contrôle inhibiteur pour tous les individus.

Nous postulons ainsi que les aliments ont un fort pouvoir sur la cognition et le comportement, indépendamment du statut pondéral des individus, favorisant les processus automatiques (système 1) et biaisant indirectement les processus contrôlés (système 2). Néanmoins, la présence d'odeurs alimentaires non-attentivement perçues semblerait biaiser ces processus en fonction du statut pondéral.

VII – 2. Effets d'amorçage en fonction du statut pondéral

Le second objectif de ce travail était d'observer les effets de stimuli alimentaires attentivement et non-attentivement perçus sur la cognition afin de mieux comprendre l'influence de notre environnement obésogène sur le traitement de l'information alimentaire.

L'hypothèse principale était que les stimuli non-attentivement perçus ne moduleraient pas le traitement cognitif des aliments de la même manière que les stimuli attentivement perçus. De

plus, nous nous attendions à ce que les odeurs signalant des aliments à haute densité énergétique (odeur de quatre-quarts) augmentent les biais attentionnels et diminuent le contrôle inhibiteur face aux aliments d'individus potentiellement déjà sensibilisés à ces stimuli (*i.e.*, les participants en obésité). En effet, selon la théorie de la sensibilisation incitative appliquée à l'obésité (Appelhans, 2009; Berridge et al., 2010; Joyner et al., 2017; Volkow et al., 2008, 2011, voir **chapitre I – section 2. 4. 2.**), les stimuli associés à la récompense sont représentés par les aliments apportant du plaisir alimentaire, que sont les aliments palatables à haute densité énergétique, auxquels les individus en obésité seraient plus « sensibles ».

Dans cette section, nous allons dans un premier temps aborder les effets d'amorçage olfactif implicite (odeurs non-attentivement perçues) en comparaison avec les effets d'amorçage olfactif explicite (odeurs attentivement perçues) afin de mieux comprendre l'effet de ces deux types d'amorçage. Dans un second temps, les effets des odeurs spécifiques au statut pondéral observés dans nos travaux seront explicités et discutés.

VII – 2. 1. Différence entre les effets d'amorçage implicite et explicite

Dans l'étude sur les biais attentionnels (Mas et al., 2019, **chapitre II**), nous avons testé l'efficacité de deux types d'amorçage olfactif : l'un, implicite, était non-attentivement perçu et permettait d'exposer les participants à des odeurs à leur insu. L'autre, explicite, exposait les participants à ces mêmes odeurs, alors qu'ils étaient explicitement informés de leur présence. Dans cette condition, dite « explicite » les participants savaient qu'ils allaient être exposés à des odeurs, et que ces odeurs changeaient à différents moments de la tâche, mais les types d'odeurs ne leur étaient pas divulgués. L'hypothèse sous-jacente était qu'un amorçage implicite donnerait des effets plus importants qu'un amorçage explicite.

VII – 2. 1. 1. Absence d'effet de l'amorçage explicite

Un des résultats importants de nos travaux indique qu'aucun effet des amorces olfactives sur les performances des participants n'a été observé lorsque ceux-ci étaient explicitement informés de la présence des odeurs. Ce résultat pourrait être rapproché de ceux issus des études en amorçage olfactif qui ont permis de mettre en évidence que l'intervention du langage (ici, nommer la procédure expérimentale, ou bien chercher mentalement à nommer l'odeur amorcée) peut annuler l'effet d'amorçage (Degel et al., 2001; Smeets & Dijksterhuis, 2014). Par ailleurs,

lorsque les individus prennent conscience de la présence des odeurs, ceux-ci peuvent modifier leur comportement en faveur d'une désirabilité sociale. On nomme ce phénomène l'effet Hawthorne : lorsque les participants savent qu'ils sont observés[21], ils tendent à se conformer le plus possible à ce qu'ils imaginent que l'expérimentateur attend d'eux, ou à masquer leurs tendances de réaction naturelles (McCambridge et al., 2014). C'est notamment ce qui a pu se produire dans l'étude sur les biais attentionnels, car l'amorçage explicite a pu exacerber le contrôle que les individus exerçaient sur leur performance durant la tâche en activant des processus plus contrôlés, inhérents au système 2 (théorie des processus-duels, voir **chapitre I, section 2. 3. 1.**).

VII – 2. 1. 2. Des effets d'amorçage implicite observés uniquement sur les processus cognitifs automatiques.

Nos résultats indiquent que seul l'amorçage olfactif implicite, non-attentivement perçu a eu un effet sur le comportement des individus, conformément à nos hypothèses. Cet effet d'amorçage implicite a été observé sur les biais attentionnels (Mas et al., 2019, **chapitre II**) et sur la réactivité (Mas et al., 2020, **chapitre III**), deux processus plus automatiques. Par contre, nous n'avons pas pu mettre en évidence un effet des odeurs non-attentivement perçues sur le contrôle inhibiteur, un processus plus contrôlé et majoritairement top-down, guidé par la cognition de l'individu.

Cela appuie le fait que les stimuli non-attentivement perçus ont un effet plus fort sur la cognition des individus que les stimuli attentivement perçus (Hess et al., 2004; Papies, 2016; Smeets & Dijksterhuis, 2014), et, plus spécifiquement, sur les processus automatiques. Les effets d'amorçage implicite ont été uniquement observés sur des processus très automatiques, prenant part au système 1 dans la théorie des systèmes duels (Frankish, 2010). De plus, il est intéressant de noter que les effets d'amorçage implicite ont été observés uniquement sur des processus principalement bottom-up, guidés par les stimuli de l'environnement (orientation attentionnelle, réactivité).

[21] Lors de l'amorçage explicite, il est facile pour un participant de comprendre que l'exposition à des odeurs est destinée à moduler ses performances dès lors qu'on l'informe de l'exposition à ces odeurs.

L'effet d'amorçage implicite sur les processus automatiques montre qu'il est plus facile d'amener les individus à « aller vers » quelque chose (par exemple, vers des choix alimentaires en lien avec l'amorce, (Forwood et al., 2015; Gaillet et al., 2013; Gaillet-Torrent et al., 2014) que de les amener à éviter quelque chose en mobilisant le contrôle inhibiteur. En se référant à la théorie de la sensibilité au renforcement (Corr, 2002, 2008), cela revient à l'idée qu'il est plus simple d'activer le système d'approche comportementale au détriment du système d'inhibition comportementale que l'inverse. Par ailleurs, des études ont démontré que le simple fait d'« aller vers » des aliments dans une tâche de Go/no-Go augmentait la préférence pour ces aliments, impliquant qu'un biais d'approche envers les aliments peut être entraîné et moduler les préférences alimentaires (Chen et al., 2019). Cela indique qu'il est plus facile d'entraîner le système d'approche que d'entraîner le système d'inhibition lorsqu'aucune conséquence négative immédiate n'est ajoutée à l'action. Il est possible que l'effet d'amorçage implicite observé ait modulé le système d'approche des individus, sans pour autant atteindre le système d'inhibition, et donc sans renforcer le contrôle inhibiteur. A notre connaissance, nos travaux démontrent pour la première fois un effet d'amorçage implicite différent en fonction des processus mesurés.

Ces éléments sont très intéressants à prendre en compte dans les messages de prévention visant à améliorer la qualité des choix nutritionnels (voir **chapitre I, section 1. 4. 4**.). En effet, nos résultats vont dans le sens d'une importance plus élevée de l'effet des stimuli implicites sur les individus. Cependant, la majorité des interventions de santé publique visant à améliorer les choix nutritionnels, par le biais de messages dans les médias, sont basés sur des messages de prévention explicite. En effet, les individus confrontés à des tentations alimentaires et à des messages de santé peuvent se retrouver dans une situation de dissonance cognitive : deux buts contradictoires sont activés en même temps, respectivement celui d'obtenir du plaisir alimentaire et celui d'avoir un mode de vie sain. Selon le modèle des croyances compensatoires (Rabia et al., 2006), les individus cédant à la tentation du plaisir alimentaire pourraient activer des croyances compensatoires sous forme de planification : « je vais manger ce gateau, mais je ferai du sport plus tard afin de compenser cela ». Néanmoins, les plans ne sont pas toujours éxécutés, et il est faiblement probable qu'un comportement compensatoire « annule » les effets d'une prise alimentaire trop calorique, surtout si lesdits comportements de santé sont effectués uniquement en réponse à des comportements défavorables pour la santé. Ainsi, il est possible que les messages de santé diffusés dans les médias aient un effet explicite « rassurant » pour

les individus, les amenant à à réaliser des comportements de santé en faveur d'une alimentation de meilleure qualité nutritionnelle. Néanmoins, si ces comportements sont utilisés comme une justification pour céder à la tentation, cela renvoie à un effet implicite et contre-productif de la stratégie de coupler les messages de santé à des messages qui promeuvent l'achat ou la consommation d'aliments de mauvaise qualité nutritionnelle. Ainsi, si l'omniprésence de stimuli alimentaires non-attentivement perçus semble avoir plus d'effet que les messages qui sont attentivement perçus, cela peut amener les individus vers des aliments de mauvaise qualité nutritionnelle par le biais de croyances compensatoires. Comme l'avaient déjà suggéré Werle & Cuny, bien que les effets explicites de ces interventions soient mesurés pour attester de leur efficacité, il est primordial d'également prendre en compte l'effet implicite des messages diffusés car ceux-ci peuvent avoir un effet plus important, allant dans le sens des résultats observés dans le présent travail (Werle & Cuny, 2012).

VII – 2. 2. Effets d'amorçage implicite différenciés selon le statut pondéral des individus, le type d'odeur, et le type de processus observé

Le paradigme d'amorçage implicite utilisé exposait les participants à des odeurs non-attentivement perçues de quatre-quarts (odeur signalant un aliment à haute densité énergétique) et de poire (odeur signalant un aliment à faible densité énergétique), ainsi qu'à une condition contrôle (sans odeur). Dans l'application de ces modèles de la sensibilisation incitative à l'obésité (Appelhans, 2009; Berridge et al., 2010; Volkow et al., 2011; Volkow & Wise, 2005, voir **chapitre I – section 2. 4. 2.**), les stimuli associés à la récompense sont représentés par les aliments apportant du plaisir alimentaire, que sont les aliments palatables à haute densité énergétique, auquel les individus en obésité seraient plus « sensibles ». Ainsi, nous nous attendions à ce que les odeurs non-attentivement perçues de quatre-quarts augmentent les biais attentionnels et diminuent le contrôle inhibiteur face aux aliments, d'individus potentiellement déjà sensibilisés à ces stimuli (*i.e.*, les participants en obésité). Dans les études utilisant l'amorçage implicite (Mas et al., 2019, **chapitre II** et Mas et al., 2020, **chapitre III**), les odeurs non-attentivement perçues ont eu pour effet de moduler les processus cognitifs que nous avons mesurés. Ces effets étaient différenciés selon l'odeur (poire, quatre-quarts), le statut pondéral (normal, surpoids, obésité) et le type de processus engagé (biais attentionnels, réactivité aux aliments, **Tableau 4**).

Tableau 4 - Résumé des effets d'amorçage implicite observés

		Amorçage avec une odeur non-attentivement perçue	
		Odeur de poire	**Odeur de quatre-quarts**
Statut pondéral	**Normal**	↑ biais attentionnels*	↓ biais attentionnels#
	Surpoids	↓ réactivité*	Aucun effet
	Obésité	↓ biais attentionnels*	↑ biais attentionnels* ↓ réactivité*

*p<0.05, #=0.08

Notre hypothèse est donc partiellement validée, car les odeurs de quatre-quarts modulaient effectivement les processus cognitifs des individus en obésité, mais :

- Ces processus ne concernaient pas toujours les aliments : bien que cette odeur ait augmenté les biais attentionnels des individus en obésité envers les aliments **(chapitre II**, Mas et al., 2019), elle a également eu un effet sur la réactivité des individus en obesité, pour tous les stimuli (aliments et objets) dans l'étude présentée en **chapitre III** (Mas et al., 2020).

- L'effet d'amorçage ne concernait pas le contrôle inhibiteur, tel que demontré dans le **chapitre III** (Mas et al., 2020).

On peut donc dire que bien que des effets d'amorçage aient été observés, ceux-ci ne correspondent pas exactement à ceux qui étaient attendus. Dans ce cas, comment comprendre l'effet des odeurs sur la cognition des individus ?

VII – 2. 2. 1. Explication de l'effet différencié des odeurs sur la cognition des individus

Johnson, en 2011, détaille 4 hypothèses permettant d'expliquer l'effet des odeurs sur la cognition (A. J. Johnson, 2011). La première hypothèse part d'un constat **pharmacologique** : les molécules volatiles odorantes vont se lier à des récepteurs olfactifs et avoir un effet direct sur la cognition. La seconde hypothèse est que la perception des odeurs entraîne un effet **émotionnel** qui va influencer le fonctionnement cognitif. La troisième hypothèse est

psychologique : l'exposition à des odeurs va créer des attentes chez le consommateur, et la dernière hypothèse est celle de l'**amorçage** en lien avec le contexte et la mémoire (A. J. Johnson, 2011). L'hypothèse pharmacologique nécessite une concentration élevée ainsi qu'un délai temporel d'à peu près 20 minutes pour que l'effet des odeurs passe la barrière hémato-encéphalique (R. S. Herz, 2009) : il paraît donc peu probable que l'exposition à des odeurs de façon simultanée à l'enregistrement de la performance puisse influencer la cognition par ce biais dans nos travaux. De plus, chaque participant était exposé à chaque odeur pendant moins de 10 minutes et les concentrations de solutions odorantes utilisées étaient très faibles. Concernant l'hypothèse émotionnelle énoncée par Johnson, les odeurs que nous avons utilisées (poire et quatre-quarts) ont été précisément pré-testées afin de refléter une valence hédonique égale, et susciter une appétence égale. Selon cette hypothèse, ces deux odeurs devraient donc mobiliser des mécanismes similaires pour tous les individus, basés sur les émotions, or ce n'est pas le cas dans nos résultats[22]. Indépendamment de la valence des odeurs, il a également été démontré que d'autres propriétés pouvaient agir sur la cognition : c'est notamment le cas pour certaines huiles essentielles qui ont des propriétés sédatives ou activantes (Moss et al., 2003). Les odeurs de poire et de quatre-quarts utilisées dans nos expériences sont des arômes alimentaires (société Le Meilleur du Chef ©), c'est-à-dire des mélanges odorants complexes. Il est donc difficile de faire des hypothèses sur les propriétés de ces odeurs. Néanmoins, les odeurs que nous avons utilisées n'ont pas eu le même effet sur tous les participants. Ainsi, il paraît peu probable que les effets des odeurs de poire et de quatre-quarts soient dus à des propriétés intrinsèques aux odeurs utilisées, car cela impliquerait qu'elles aient un effet uniforme et similaire pour tous les individus qui y ont été exposés. Enfin, l'hypothèse liée aux attentes des participants par rapport à l'odeur ne s'applique pas à nos études étant donné que lors d'un amorçage explicite, aucun effet des odeurs n'a été observé (Moss et al., 2003). Dans nos travaux, l'explication qui permet donc de justifier l'effet des odeurs observé est celle d'une association entre le contexte olfactif (ici, les odeurs amorcées) et les représentations mentales des individus, activant certains processus cognitifs (**Figure 15**).

[22] Ni dans les tâches d'évocation réalisées sous forme de pré-tests préalablement à l'utilisation des odeurs de poire et de quatre-quarts dans nos travaux (données non publiées).

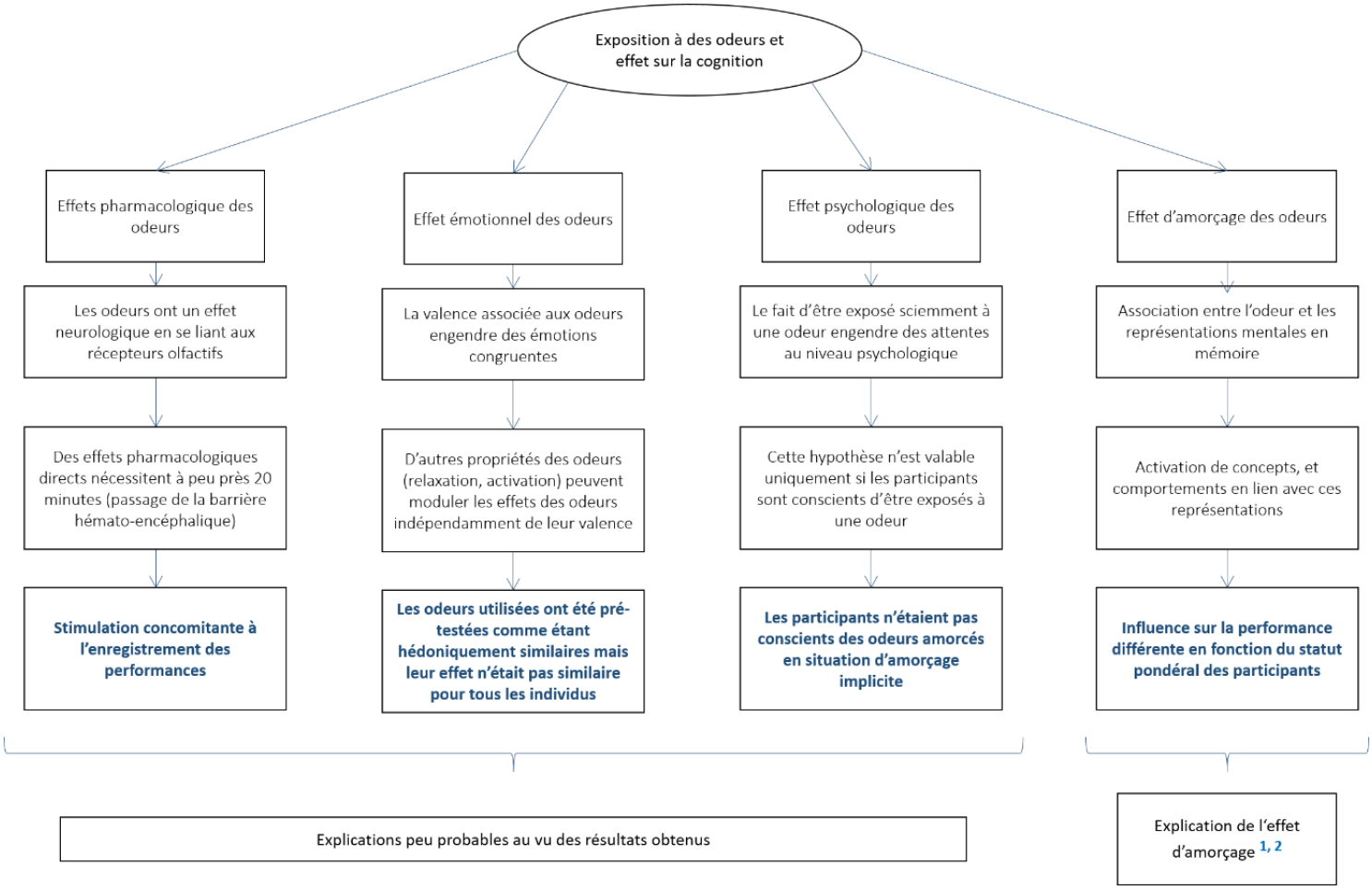


Figure 15 - Différentes hypothèses pouvant expliquer l'influence générale des odeurs sur la cognition, selon Johnson. Références de la figure : A. J. Johnson, 2011 ; 1 Mas et al., 2019 ; 2 Mas et al., 2020.

VII – 2. 2. 2. Absence de différence olfactive entre les individus de statut pondéral différent

Comme nous l'avons vu dans le **chapitre V**, il n'y a pas de lien entre le statut pondéral et un déficit des capacités olfactives (détection et identification). Contrairement à certaines hypothèses formulées par Stafford, en 2015 (Stafford & Whittle, 2015), les individus en obésité ne semblent pas avoir de meilleures capacités olfactives face aux aliments. Néanmoins, les études qui ont le plus souvent observé des différences en lien avec le statut pondéral sont celles qui se sont intéressées à la sensibilité olfactive des participants (seuil de détection). Afin d'avoir une mesure relative de la sensibilité des participants aux odeurs de poire et de quatre-quarts, il est également intéressant de comparer le statut pondéral des participants qui avaient détecté une

odeur alimentaire lors des séances expérimentales en amorçage implicite. (Ces données sont représentées dans le **chapitre I – Fig 4** (flowchart) et dans le **chapitre 2 – Fig 2** (flowchart)).

Bien que ces participants aient été écartés des analyses concernant l'effet des amorces non-attentivement perçues, il apparait que le nombre d'exclusions pour cette raison ne soit pas différent en fonction du statut pondéral. Ainsi, les participants en surpoids et en obésité n'avaient pas un seuil de détection plus bas, et ne seraient donc pas olfactivement plus « sensibles » aux odeurs utilisées que les participants normo-pondéraux. Cela permet de dire que les effets d'amorçage implicite observés en lien avec le statut pondéral ne relèvent pas de la **sensibilité olfactive** aux aliments, mais bien d'une plus grande **sensibilité cognitive**.

VII – 2. 2. 3. Effet de l'odeur de poire sur les individus normo-pondéraux et en surpoids.

Dans l'étude sur les biais attentionnels (Mas et al., 2019, **chapitre II**), lors de l'exposition non-attentivement perçue à une odeur de poire, les participants normo-pondéraux orientaient plus leur attention envers les aliments que les participants en obésité.

Cette odeur pourrait avoir activé une représentation mentale spécifiquement reliée à l'alimentation, amenant les individus à être plus attirés attentionnellement vers les aliments en général (aliments à haute densité énergétique *vs.* neutre ; aliments à haute densité énergétique *vs.* aliments à faible densité énergétique ; aliments à faible densité énergétique *vs.* neutre), de manière congruente avec ce qui a été observé chez les enfants dans l'étude de Marty et al., 2017 (Marty et al., 2017).

En effet, Marty et collaborateurs avaient déjà observé un effet différencié de l'odeur de poire sur les intentions de choix alimentaires des enfants normo-pondéraux et en obésité. Dans leur étude, l'odeur de poire non-attentivement perçue augmentait la probabilité de choix de fruits pour les enfants en obésité, tandis qu'elle augmentait la probabilité de choix d'aliments gras-sucrés pour les enfants normo-pondéraux. Une interprétation de ces travaux était que l'odeur de poire actiavit la dimension plaisir de l'alimentation chez les enfants normo-pondéraux. Or,

contrairement à ce qui a été observé chez les enfants[23], seule l'odeur de poire avait un effet sur les participants normo-pondéraux dans nos travaux. La différence entre les effets observés au niveau de l'orientation attentionnelle (**chapitre II**) et les effets osbervés chez les enfants (Marty et al., 2017) pourrait résider dans la modification des représentations mentales associées à l'alimentation au cours de la vie. En effet, les enfants ont davantage tendance à être orientés par le plaisir que par les aspects santé dans leurs choix alimentaires (Marty et al., 2018). Par ailleurs, bien que les adultes et les enfants aient tendance à distinguer les aliments « bons pour la santé » des aliments « mauvais pour la santé » (Raman, 2014), les schémas liés à l'alimentation sont plus diversifiés et plus complexes chez les adultes, ce qui peut expliquer les différents effets de l'odeur de poire en fonction du statut pondéral entre enfants et adultes (Nguyen & McCullough, 2011).

Dans l'étude présentée en **chapitre III** (Mas et al., 2020), un effet de l'odeur non-attentivement perçue de poire a été observé sur la vitesse de détection des stimuli pour les participants en surpoids : ils étaient plus lents à détecter les images. Il est possible que l'amorçage avec une odeur de poire active des représentations mentales qui soient davantage liées à l'aspect « santé » de l'alimentation. Cette activation pourrait ainsi interférer avec le traitement cognitif des images d'aliments, et perturber l'individu en ralentissant sa performance globale de réactivité face à tous les stimuli (images d'aliments et d'objets). En effet, dans le **chapitre VI**, nous avons pu observer que les individus en surpoids étaient sujets à une insatisfaction corporelle plus élevée que les individus normo-pondéraux. En termes de profil, les individus en surpoids correspondaient également de façon majoritaire aux profils associés à une moindre fréquence de consommation d'aliments gras-sucrés et salés. Une hypothèse à explorer est que les individus en surpoids seraient plus confrontés à la dimension diététique de l'alimentation, ainsi qu'à la stigmatisation liée au poids dans leur vie quotidienne, les rendant donc plus sensibles au concept de diététique associé à l'alimentation. L'activation du concept de santé par l'odeur de poire peut avoir ralenti la performance des individus car ils auraient pu être perturbés par la dissonance entre l'activation de ce concept et la présence d'aliments à haute densité énergétique (aliments associés au poids) dans la tâche demandée (Meule et al., 2011). Les temps de réaction plus longs des individus en surpoids amorcés avec l'odeur de poire pourraient ainsi traduire une

[23] Dans l'étude de Marty et al., 2017, l'exposition non-attentive à une odeur de quatre-quarts et à une odeur de poire diminuait la probabilité de choix alimentaires de bonne qualité nutritionnelle (fruits) pour les enfants normo-pondéraux.

prise de décision plus longue entre détection (« go ») et non détection (« no/Go ») (Gomez et al., 2007). Cet effet est à rapprocher des effets de la restriction sur la cognition : l'effet de l'odeur de poire pourrait activer des schémas stockés en mémoire à long terme visant à causer une diminution automatique de la saillance des aliments (Hume et al., 2016; Piacentini et al., 1993). Le coût cognitif associé diminuerait ainsi les temps de réaction des individus (Kemps et al., 2008). Néanmoins, aucune différence en termes de restriction pour les individus en surpoids n'a pu être observée en comparaison avec les autres groupes de statut pondéral dans l'étude présentée en **chapitre VI**. Le surpoids est très rarement étudié en tant que tel, nos résultats montrent ainsi que de plus amples recherches sur ce statut pondéral pourraient permettre de mieux le comprendre.

VII – 2. 2. 4. Effet de l'odeur de quatre-quarts sur les individus en obésité

- Dans l'étude présentée en **chapitre II** (Mas et al., 2019), les participants en obésité orientaient significativement plus leur attention vers les aliments lorsqu'ils étaient exposés de manière non-attentive à une odeur de quatre-quarts, en comparaison avec l'exposition à une odeur de poire, et également en comparaison avec les individus normo-pondéraux.

- Dans l'étude présentée en **chapitre III** (Mas et al., 2020), cette même odeur non-attentivement perçue ralentissait la performance des individus en obésité, comparativement à la condition sans odeur. Aucun effet n'a été observé pour les participants en surpoids.

Les biais attentionnels des individus en obésité envers les aliments étaient exacerbés lorsqu'une odeur de quatre-quarts était présentée de manière non-attentive, et leur réactivité face à tous types de stimuli (aliments, objets) était amoindrie. Ces deux éléments nous amènent à penser que le biais d'approche envers les aliments (détaillé dans la **section 1. 1.** du présent chapitre) est modulé par la présence d'odeurs d'aliments à haute densité énergétique non-attentivement perçues pour les individus en obésité. En effet, au cours des deux études, l'effet d'amorçage était persistant pour la même odeur (quatre-quarts) et le même statut pondéral (obésité), contrairement aux individus normo-pondéraux et en surpoids. Il serait ainsi probable que l'activation de représentations mentales par l'odeur de quatre-quarts module la performance des individus en obésité (voir **Figure 16**). Dans un cas (**chapitre II**), ce phénomène augmente le

biais attentionnel envers les aliments, dans l'autre cas (**chapitre III**), il ralentit la vitesse d'exécution (réactivité à tous les types de stimuli) en perturbant les processus de prise de décision comme décrit pour le surpoids en section **2. 2. 3** du présent chapitre.

Par contraste, l'orientation de l'attention des individus en obésité envers les aliments était diminuée par l'odeur de poire (Mas et al., 2019, **chapitre II)**. L'odeur de poire pourrait avoir activé une représentation mentale qui amenerait les individus en obésité à moins s'engager attentionnellement vers les aliments de façon automatique.

Il semblerait donc que les odeurs aient des effets différents en fonction du statut pondéral selon les aliments dont elles signalent la présence : haute densité énergétique *vs.* faible densité énergétique. Le biais d'approche modulé par la présence des odeurs ne serait donc pas similaire pour tous les stimuli alimentaires et une dichotomie au niveau de l'activation cognitive semblerait exister entre les odeurs de poire et de quatre-quarts pour les individus en obésité.

On peut néanmoins affirmer qu'il existe une vulnérabilité cognitive aux odeurs d'aliments à haute densité énergétique chez les personnes en obésité. Cette vulnérabilité semble affecter les processus cognitifs de manière automatique, et valide ainsi un effet de l'environnement alimentaire non-attentivement perçu qui agit au-delà du contrôle volontaire, et qui est particulier pour les individus en obésité. Différentes pistes permettent d'expliquer ce phénomène.

Odeur de quatre-quarts et obésité : un effet activant spécifique ?

Il est également intéressant de noter que dans l'étude sur les biais attentionnels (Mas et al., 2019, **chapitre II**), tous les participants orientaient plus leur attention vers les aliments. L'augmentation des biais attentionnels liée à une odeur de quatre-quarts était donc une augmentation des biais attentionnels envers les aliments. Il serait intéressant d'observer comment ces odeurs de quatre-quarts pourraient moduler une performance face à des stimuli neutres, par exemple, dans le cas de l'orientation attentionnelle entre deux paires d'images d'objets : un effet du quatre-quarts sur ces paires nous permettrait de mieux comprendre si l'odeur de quatre-quarts stimule le biais d'approche des individus en obésité face à la nourriture, ou bien stimule les performances des participants en obésité en général. En effet, il a été démontré que les odeurs pouvaient avoir un effet sur la cognition des participants, par exemple dans des études impliquant la perception du temps: certaines d'odeurs tendent à avoir un effet stimulant sur les individus, modulant leurs performances cognitives globales (Millot et al.,

2016). Il paraît ainsi difficile de différencier les effets attentionnels des effets stimulants d'une odeur sur la cognition car ils semblent très proches. De plus, les effets attentionnels d'une odeur peuvent donner lieu à des processus cognitivement stimulants qui dépendent de la longueur de l'exposition au stimulus olfactif (Millot et al., 2016). L'effet de l'odeur de quatre-quarts observé pourrait ainsi être liée à un effet « stimulant » de l'odeur qui soit spécifique aux individus en obésité.

Odeur de quatre-quarts et obésité : un lien avec les habitudes alimentaires ?

Comme il a été observé dans le **chapitre VI**, plus l'IMC des participants était élevé, plus ils avaient tendance à déclarer consommer fréquemment des aliments salés à haute densité énergétique (comme des fritures, charcuterie, fromages, chips). Les participants en obésité ont déclaré plus consommer ces aliments que les participants normo-pondéraux. Cette habitude de consommation pourrait permettre d'expliquer l'effet d'une odeur d'aliment gras-sucré (le quatre-quarts) sur les performances des participants. Néanmoins, la fréquence de consommation d'aliments sucrés, comme les gâteaux (catégorie dont fait partie le quatre-quarts) ne différait ni en fonction du statut pondéral, ni de l'IMC. Il reste néanmoins probable que les représentations mentales des aliments gras chez les individus en obésité soient particulières, de par la fréquence de consommation de celles-ci, permettant d'expliquer l'effet de l'odeur de quatre-quarts spécifiques aux individus en obésité. En effet, la théorie de la sensibilisation incitative postule que l'habituation à des aliments palatables, comme les aliments gras, sensibilise les individus aux indices qui y sont associés (Berridge et al., 2010, 2010; T. E. Robinson & Berridge, 2008). Cela permettrait d'expliquer l'augmentation des biais attentionnels et la perturbation de la réactivité globale des individus en obésité en présence d'une odeur de quatre-quarts, et de nouvelles recherches sont nécessaires afin de tester cette hypothèse.

Odeur de quatre-quarts et obésité : une recherche de plaisir alimentaire exacerbé ?

Nous avons également observé que plus l'IMC des participants était élevé, plus ils avaient un score élevé de recherche de sensations (**chapitre VI**). La recherche de sensations est une facette de l'impulsivité qui correspond à la recherche de sensations nouvelles, excitantes et intenses, quitte à devoir prendre certains risques pour obtenir ces sensations (Whiteside & Lynam, 2001; Zuckerman, 2008). Cette facette est fréquemment retrouvée dans les troubles associés aux

difficultés de contrôle, comme les addictions (Billieux, 2012). Ainsi, l'association entre un IMC élevé et un plus haut score de recherche de sensations permet d'appuyer la théorie de la sensibilisation incitative appliquée à l'obésité. En effet, les individus à la recherche de sensations excitantes pourraient être plus amenés à consommer des aliments palatables (Mobbs et al., 2010), ce qui engendrerait un processus de sensibilisation de l'individu (selon la théorie de la sensibilisation incitative, voir **chapitre I, section 2. 4. 2.**), et donc une sensibilité ultérieure aux indices environnementaux associés au plaisir alimentaire, comme l'odeur de quatre-quarts.

De façon très intéressante, la recherche de sensations est associée à un système d'approche suractivé et à un système d'approche sous-activé (Corr, 2008; Lang et al., 2005). Il est ainsi probable que la représentation mentale de « recherche de sensations » ait été activée par l'odeur de quatre-quarts chez les individus en obésité, ce qui a eu pour conséquence d'activer un biais d'approche : augmentation des biais attentionnels envers les aliments et diminution de la réactivité aux stimuli. De plus, des temps de réaction plus lents (dans une tâche comparable à celle que nous avons utilisée pour mesurer le contrôle inhibiteur) ont été observés comme étant associés à une difficulté à contrôler ses apports alimentaires (Calvo et al., 2014), un aspect relié à la recherche de sensations.

VII – 2. 2. 5. Conclusion sur les effets d'amorçage spécifiques au statut pondéral

Conformément à la théorie de la sensibilisation incitative de l'obésité (Appelhans, 2009; Berridge, 2003, 2009; Joyner et al., 2017; Volkow et al., 2008, 2011; Volkow & Wise, 2005, voir **chapitre I – section 2. 4. 2.**), nous nous attendions à ce que les odeurs de quatre-quarts aient un effet plus fort sur les individus en obésité, augmentant les biais attentionnels envers les aliments et entraînant un déficit de contrôle inhibiteur face aux aliments. Cependant, nous n'avons pas observé le déficit de contrôle inhibiteur attendu dans nos hypothèses. Cet effet peut s'expliquer par la perception non-attentive des odeurs: en effet, les modèles de l'obésité basés sur les mécanismes de sensibilisation à la récompense sont principalement construits sur des études utilisant **des stimuli attentivement perçus** (Goldstein & Volkow, 2011; Zhang et al., 2009). Dans le cas de stimuli **non-attentivement perçus**, il apparaît que les effets de saillance attentionnelle et de déficit de contrôle inhibiteur par les modèles de la sensibilisation incitative ne soient pas observables. Il a en effet été démontré que des stimuli non-attentivement perçus et associés à la récompense n'avaient pas le même effet que des stimuli attentivement perçus,

et reposeraient sur des structures cérébrales différentes de celles ciblées dans les modèles de la sensibilisation (Goldstein & Volkow, 2011; Zhang et al., 2009). Nos résultats permettent ainsi de valider qu'il existerait une sensibilité aux indices alimentaires dans l'obésité, mais que celle-ci ne se manifesterait pas tel que la théorie de la sensibilisation incitative le décrit. En effet, bien que les participants aient été exposés à des images d'aliments dans nos travaux, c'est uniquement lors de la présence d'odeurs non-attentivement perçues que des biais cognitifs spécifiques au statut pondéral ont pu être observés.

Les individus en obésité souffrent fréquemment de stigmatisation, due partiellement à la croyance que les choix alimentaires de mauvaise qualité nutritionnelle sont sous contrôle volontaire (Volkow & Wise, 2005). Nos résultats confirment qu'il existe une vulnérabilité au niveau des processus de traitement cognitif automatiques des aliments, qui reposeraient donc davantage sur des aspects automatiques que contrôlés. De plus, ces aspects automatiques semblent plus facilement moduler le biais d'approche envers les aliments que le biais d'inhibition, démontré par l'absence d'effet sur le contrôle inhibiteur.

Il est possible que les odeurs activent des représentations mentales différentes (**Figure 16**) en fonction du statut pondéral. Cette activation pourrait agir comme un filtre **modulateur** sur le traitement de l'information ultérieure.

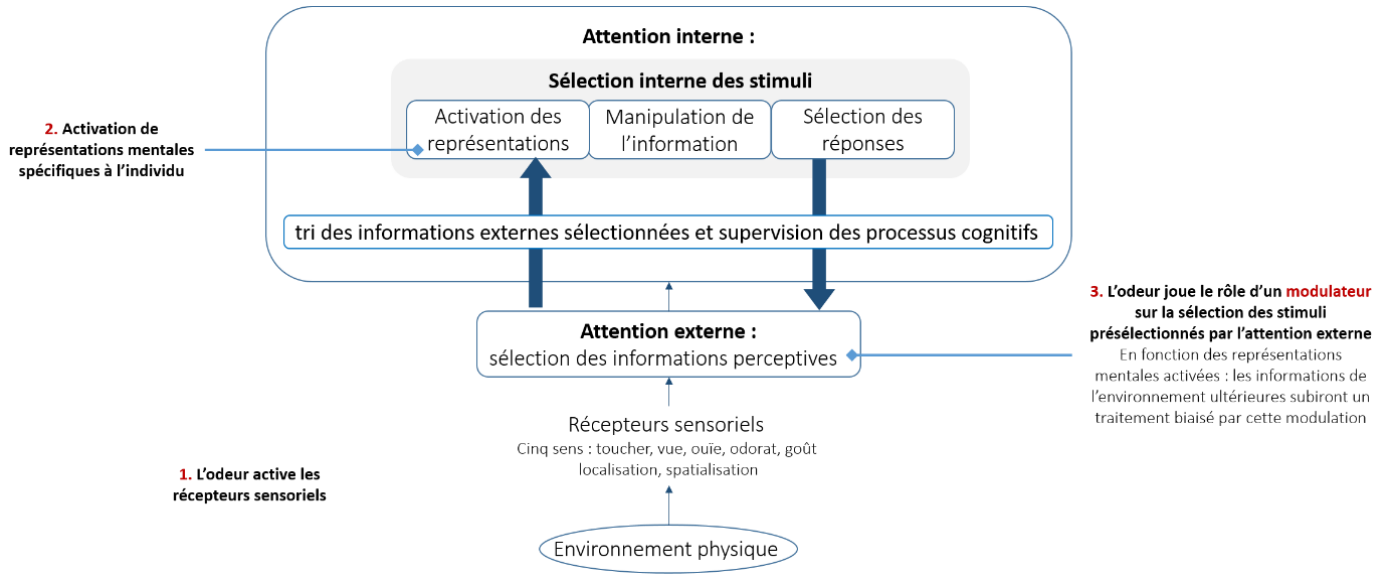


Figure 16 - Explication de l'effet des odeurs non-attentivement perçues sur le traitement de l'information

1. Une odeur active les récepteurs sensoriels. Celle-ci est non-attentivement perçue : elle ne va donc pas être directement accessible à la conscience, mais va elle va subir un traitement cognitif.

2. L'odeur va aller activer des représentations mentales en fonction de sa nature (poire, odeur fruitée, quatre-quarts, odeur d'aliment gras-sucré). Pour l'odeur de poire, des représentations mentales spécifiques, potentiellement liées à la santé (aliment à faible densité énergétique) sont activées. Pour l'odeur de quatre-quarts, l'odeur pourrait activer des représentations mentales liées au plaisir alimentaire (nourriture palatable). Ce processus d'activation des représentations mentales est un processus **bottom-up** car il part de l'environnement physique (odeur) pour aller vers l'individu (représentations mentales qui lui sont propres).

3. L'activation des représentations mentales par la présence de l'odeur va biaiser les processus subséquents (les performances des participants à la tâche), comme si un filtre de sélection était appliqué sur le tri des stimuli, favorisant certains processus au détriment d'autres. Pour l'odeur de poire, il s'agit d'une diminution des biais attentionnels des individus en obésité, d'une augmentation des biais attentionnels pour les individus normo-pondéraux, et d'une augmentation de la réactivité globale pour les individus en surpoids. Pour les représentations activées par l'odeur de quatre-quarts, il s'agit d'une augmentation des biais attentionnels et d'une diminution de la réactivité propre aux individus en obésité. Ce processus est un processus **top-down**, car il part de l'individu (activation des représentations mentales) et va vers des niveaux plus bas du traitement (tri de l'information, **Figure 14**).

Ainsi, il est possible que les odeurs non-attentivement perçues de poire et de quatre-quarts activent des représentations mentales différentes chez les individus en fonction de leur statut pondéral, qui vont à leur tour activer des schémas cognitifs dans un premier temps. Dans un second temps, l'activation de ces schémas module les performances des participants, d'une manière qui a atteint les composantes « bottom-up » du biais d'approche envers les aliments : la réactivité et les biais attentionnels.

Dans un environnement abondant en stimulation alimentaires, les individus peuvent être confrontés à plusieurs stimuli « modulateurs » à leur insu, ce qui peut par la suite influencer

leur comportement alimentaire de façon automatique (Cohen, 2008a; Spence et al., 2016). Il n'est pas exclu qu'une abondance de stimulation multi-modale (stimuli olfactifs, visuels, auditifs) augmente le biais d'approche envers les aliments au point de créer un déficit de contrôle inhibiteur.

Néanmoins, il est complexe d'identifier précisément quelles sont les représentations mentales et les schémas qui sont activés par les stimuli de l'environnement car il existe une grande variabilité entre les individus, indépendamment de leur statut pondéral, comme nous l'avons vu en **chapitre VI**.

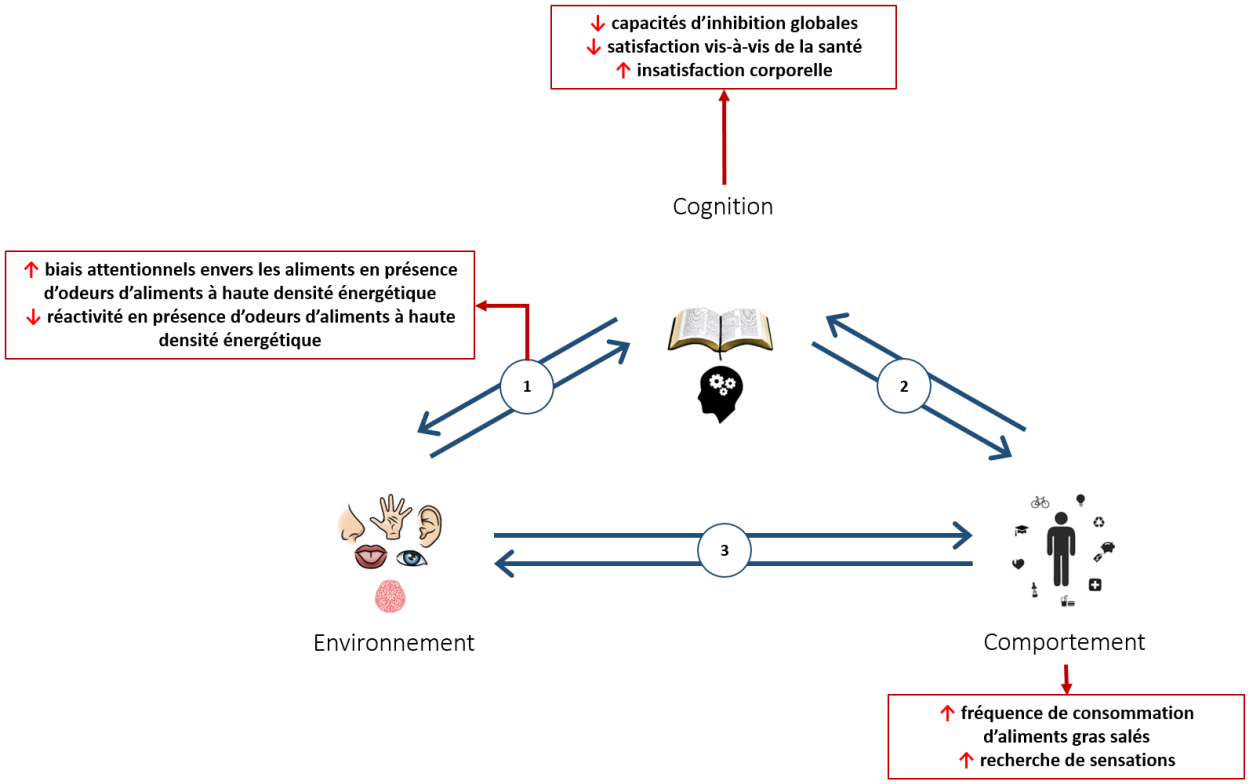
VII – 3. Statut pondéral et profils d'individus.

L'étude portant sur l'analyse des questionnaires présentée en **chapitre VI** valide l'hypothèse selon laquelle il existe autant d'obésités que de personnes de statut pondéral normal (Guy-Grand, 2008). En effet, la grande majorité des liens entre les variables étudiées (notamment le style alimentaire et la qualité de vie) et le statut pondéral n'était pas significative. Néanmoins, plusieurs de ces variables étaient liées à un IMC élevé (**Figure 17**).

L'IMC permet de caractériser les individus en divers statuts pondéraux. Par contre, cet indicateur basé sur la taille et le poids ne permet pas de déterminer avec précision l'état de santé d'un individu, ou bien la nature de sa relation avec l'alimentation. De la même manière, les catégories de statut pondéral dérivées de l'IMC sont corrélées avec le risque cardio-vasculaire des individus, mais ne suffisent pas à catégoriser les différents types d'obésités de façon précise (Guy-Grand, 2008).

VII – 3. 1. Liens observés entre les différentes variables étudiées et un Indice de Masse Corporelle élevé.

Le travail présenté au cours des différents chapitres (**II, III, V, VI**) a permis de mettre en lien certaines tendances associées à un IMC élevé. Afin de mieux comprendre l'interaction individu-environnement, les différents liens sont représentés dans la **Figure 17**.



1) **Environnement et cognition :** Les stimuli environnementaux vont activer des schémas cognitifs stockés en mémoire à long terme qui vont filtrer l'information perçue par l'individu via des biais cognitifs.
2) **Cognition et comportement :** Les schémas cognitifs et représentations mentales (croyances, connaissances, motivations) vont orienter et façonner le comportement. Dans une perspective d'adaptation, le résultat des comportements émis (*feedback*) va amener la réévaluation des schémas cognitifs : ils seront ainsi validés et pérennisés, ou bien modifiés en fonction des conséquences de la situation.
3) **Comportement et environnement :** L'environnement peut susciter des réponses comportementales automatiques chez l'individu. Ces processus sont également médiés par la cognition, mais à un niveau archaïque et réflexe. Les comportements de l'individu vont lui permettre d'agir sur son environnement.

Figure 17 - Illustration des variables étudiées associées à un IMC élevé, expliquées en lien avec la théorie du déterminisme réciproque. Références de la figure : Bandura, 1999; Carré, 2004; Mas et al., 2019, 2020

Environnement : Comme nous l'avons vu dans la **section 2** du présent chapitre, les individus en obésité avaient une plus grande sensibilité cognitive aux odeurs d'aliments à haute densité énergétique de l'environnement. Ils présentaient un biais d'approche envers les aliments qui était exacerbé lors de l'exposition à une odeur de quatre-quarts, sans pour autant que cela influence leurs capacités de contrôle inhibiteur face aux aliments. L'environnement va ainsi moduler le traitement cognitif des individus en obésité (**chapitre II et III**). De plus ils sont plus sensibles que les individus normo-pondéraux à une odeur signalant des aliments à haute densité énergétique qui va activer des représentations mentales particulières. (**Figure 17 -** ①).

Cognition : Au niveau du traitement cognitif global, il a été démontré dans le **chapitre IV** que les participants avec un IMC élevé avaient de moins bonnes capacités d'inhibition globales. Ce

déficit d'inhibition n'a pas été observé en lien avec l'alimentation de façon spécifique, mais peut empêcher les individus de statut pondéral plus élevé d'adopter un style de vie sain en rendant difficile l'autorégulation de comportements en lien avec la santé (difficultés à adopter un mode de vie plus sain, ou à suivre les recommandations hygiéno-diététiques). Cela pourrait expliquer pourquoi les individus avec un IMC plus élevé sont moins satisfaits de leur santé, comme cela a été observé dans le **chapitre VI**. Il est intéressant de noter que les individus en obésité n'étaient pas moins satisfaits de leur qualité de vie au sens global et n'avaient pas une moins bonne qualité de vie physique : une hypothèse est que la faible satisfaction vis-à-vis de la santé pourrait donc être liée à des mécanismes d'impuissance acquise : les individus plus vulnérables à leur environnement et ayant de moins bonnes capacités à autoréguler leur comportement (déficit d'inhibition, **chapitre IV**) pourraient se trouver plus fréquemment dans des situations d'échec quant à leurs objectifs en matière de santé (Markey et al., 2016). Cela amènerait les individus avec un IMC plus élevé à avoir des croyances négatives vis-à-vis de leur santé. Ces croyances pourraient impacter leur capacité à perdre du poids, constituant ainsi un facteur de maintien de l'obésité (Carmody et al., 1995).

Comportement : Les individus avec un IMC plus élevé avaient également tendance à rechercher des sensations excitantes (**chapitre VI**). La combinaison de cette tendance avec un déficit de contrôle inhibiteur et un environnement tentant rend plus probable la réalisation de comportements « à risque » pour la santé. Comme nous l'avons détaillé dans le **chapitre VI**, la recherche de sensations peut correspondre à une recherche de sensations alimentaires intenses, comme par exemple le plaisir alimentaire (*via* la consommation plus fréquente d'aliments gras salés ou la sensation de « plein » après un repas) **(Figure 17 - ②)**. La consommation d'aliments gras salés plus fréquente peut avoir des conséquences sur la perception de l'environnement (**Figure 17 -** ③), rendant plus saillants certains stimuli alimentaires qui vont correspondre aux buts supposés de l'individu (recherches de sensations). La consommation d'aliments gras est également associé à une sensibilisation plus élevée aux aliments gras, par réduction de la satieté et augmentation de la faim face à des aliments (Benelam, 2009). Etant donné que nos expériences portaient uniquement sur des stimuli alimentaires sucrés (odeurs, images), il serait intéressant de tenter une réplication de nos expériences en utilisant des stimuli alimentaires « salés » (images d'aliments, odeurs à haute et faible densité énergétique) afin d'observer comment cela module les performances des individus.

VII – 3. 2. Mieux caractériser les individus

Dans le **chapitre VI**, trois clusters d'individus ont été identifiés sur la base de variables concernant leur qualité de vie, leur alimentation, leur rapport au corps, et leurs traits psychologiques (ressenti d'émotions négatives, recherche de sensations). Il apparaît que les individus qui se « ressemblaient » le plus étaient de statuts pondéraux divers, signifiant donc que tous les individus en obésité ne souffrent pas systématiquement du « fardeau psychosocial » qui y est associé (Sarwer & Polonsky, 2016) : faible qualité de vie, insatisfaction corporelle, ressenti d'émotions négatives, statut socio-économique faible. De la même façon, les individus en surpoids étaient soit catégorisés comme étant des individus « satisfaits », soit comme étant des individus « protégés » ou « vulnérables », ce qui valide l'importance de ne pas utiliser le statut pondéral/l'IMC comme seul indice des variables fréquemment associées à la surcharge pondérale en recherche, car celles-ci reflètent un stéréotype très présent (R. M. Puhl & Heuer, 2010), mais pas toujours avéré. Ces éléments sont également cruciaux à prendre en compte dans le traitement de l'obésité. En effet, l'IMC est majoritairement utilisé par les soignants pour caractériser l'obésité (Glauser et al., 2015) et il s'agit de l'un des éléments centraux permettant de déterminer l'accès à une chirurgie bariatrique pour un patient (Padwal et al., 2011). **Nos travaux confirment que l'IMC n'est pas représentatif de la qualité de vie ou du statut fonctionnel des individus et est donc à interpréter prudemment, en lien avec le contexte clinique.**

Il est important de noter que dans notre échantillon, les individus avec des comorbidités majeures (diabète de type 2, insuffisance respiratoire, maladies cardio-vasculaires, trouble du comportement alimentaire, *etc.*) étaient systématiquement exclus de la participation aux études. Ainsi, les tendances observées peuvent ne pas être les mêmes dès lors que l'on étudie les facteurs psychosociaux associés à une obésité qui serait très contraignante pour l'individu car associée à des comorbidités physiques ou psychologiques, des traitements médicamenteux, ou un trouble du comportement alimentaire. Ce point sera discuté plus amplement en section **4. 1. 1** du présent chapitre.

VII – 3. 3. Un environnement obésogène, des individus vulnérables

L'identification de trois clusters d'individus « sains » (*i.e.*, sans comorbidités majeures) de statuts pondéraux divers nous a permis de mettre en évidence que certains individus seraient

plus vulnérables à l'obésité. Par ailleurs, et selon les résultats discutés en **chapitres II et III**, cette vulnérabilité pourrait être exacerbée par la présence abondante de stimuli alimentaires dans notre environnement.

L'environnement actuel, de par la richesse du nombre de stimuli alimentaires qui le composent, constitue un déclencheur omniprésent pour le biais d'approche naturel envers les aliments : ceux-ci vont attirer l'attention et leur traitement cognitif va être facilité. L'environnement donne également aux individus l'occasion de consommer les aliments à haute densité énergétique de manière simple : supermarchés, grand nombre de fast foods, nourritures faciles à préparer et peu onéreuses (Popkin, 2001). Ainsi, en plus de faciliter le traitement cognitif et un déficit d'inhibition, l'environnement permet aux individus de consommer facilement des aliments souvent très denses énergétiquement. Par ailleurs, lorsque beaucoup de stimuli sont présents dans l'environnement, la charge mentale est augmentée, ce qui amène les individus à faire des choix impulsifs les amenant vers des aliments plus caloriques (Shiv & Fedorikhin, 1999). Ce phénomène est d'autant plus exacerbé si les individus disposent de plus faibles capacités cognitives (déficit d'inhibition, cf **chapitre IV**) et peut être facilité par la présence d'une « vulnérabilité » telle qu'observée dans le cluster d'individus présenté en **chapitre VI** (cluster « vulnérable » : qualité de vie faible, consommations fréquentes d'aliments gras salés et sucrés, insatisfaction corporelle, style alimentaire plutôt externaliste et émotionnel). En présence d'une charge cognitive, les choix vont davantage être sous-tendus par des processus automatiques (Friese et al., 2008; Hofmann et al., 2007, 2009), et le présent travail a permis de mettre en évidence un effet des indices alimentaires à haute densité énergétique sur le traitement cognitif automatique pour les individus en obésité. On peut donc parler d'un cercle vicieux : la présence de stimuli alimentaires favorise leur traitement cognitif, ce qui, en retour, va initier un déficit de contrôle inhibiteur sur le plan comportemental dans un environnement qui donne tous les moyens aux individus de consommer des aliments. On peut donc dire que **les mécanismes qui facilitent la consommation d'aliments de mauvaise qualité nutritionnelle s'auto-renforcent au contact de notre environnement obésogène** (**Figure 18**), et que des individus plus vulnérables soient plus à même d'être influencés.

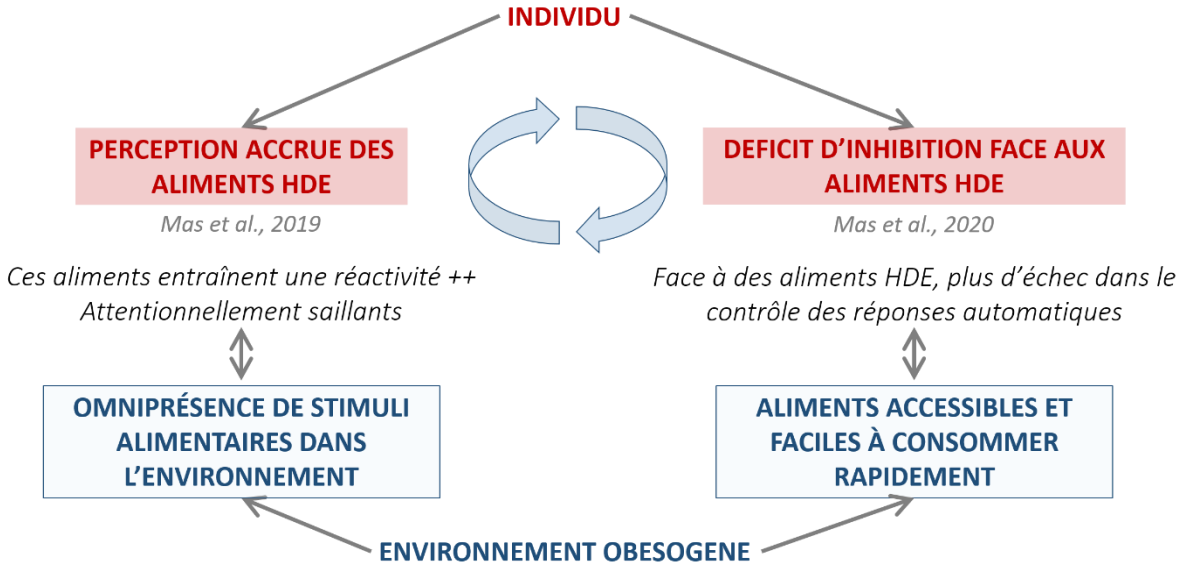


Figure 18 - Cercle vicieux des mécanismes de traitement de l'information alimentaire renforcés par un environnement obésogène (HDE = Haute Densité Energétique)

VII – 4. Forces et limites de ce travail

VII- 4. 1. Forces et innovations

VII – 4. 1. 1. Études sur des individus sains en dehors du statut pondéral

Ce travail s'est attaché à caractériser le traitement de l'information alimentaire d'individus normo-pondéraux, en surpoids et en obésité. Le but principal était d'expliquer comment certains individus sont amenés à faire des choix alimentaires délétères pour leur santé alors que d'autres non. Afin de se concentrer sur des conditions pondérales sans aucune comorbidité, nous avons, dans chacune des études présentées, tenté de capturer des phénomènes exclusivement inhérents à l'excès pondéral en comparant des individus les plus « sains »[24] possible, mais de statut pondéral divers.

[24] Par « sains », il est entendu ici : sans comorbidité physique ou psychologique majeure, car les participants à nos études étaient exclus s'ils présentaient un trouble du comportement alimentaire, une pathologie chronique telle que des troubles cardio-vasculaires, une insuffisance respiratoire, un diabète de type 2, ou bien s'ils prenaient un traitement susceptible d'altérer leurs fonctions cognitives (antidépresseur, anxiolytique, antipsychotique).

En effet, un certain nombre de comorbidités fréquemment associées à l'obésité ont un effet sur la cognition. Leurs effets, s'ils ne sont pas pris en compte, peuvent être confondants pour la recherche et amener à considérer des manifestations cognitives et comportementales de ces comorbidités comme étant inhérentes au simple fait d'être en obésité. C'est notamment le cas pour le diabète de type 2 (Everson-Rose & Ryan, 2015), l'hypertension artérielle (Moraes et al., 2019) et l'insuffisance respiratoire (Andrianopoulos et al., 2017), ainsi que les troubles du sommeil (syndrome d'apnée obstructive du sommeil) (Krysta et al., 2017) qui sont fréquemment liés à l'obésité. De la même manière, lorsque le fonctionnement cognitif et psychologique était étudié (*i.e.*, dans les **chapitres II** (Mas et al., 2019) **III** (Mas et al., 2020), **V** et **VI**), les individus avec un trouble du comportement alimentaire (TCA) étaient systématiquement exclus. Très présents chez les individus en surpoids et en obésité, ces troubles modulent le traitement cognitif des aliments et influencent leur comportement d'une manière spécifique (Lowe, 2005; Mobbs et al., 2011). Notre but, en excluant les individus présentant ce type de comorbidités des analyses présentées, était de capturer le fonctionnement sensoriel, cognitif, psychologique et comportemental pour avoir le reflet d'individus « sains ». Par le contrôle des variables comorbides à l'obésité, nous avons ainsi tenté de cibler certaines formes d'obésité qui seraient uniquement liées à un déséquilibre de la balance énergétique issu de comportements alimentaires obésogènes, contrairement à la majorité des études réalisées actuellement sur la cognition et l'obésité qui ont tendance à ne pas contrôler ces facteurs (Prickett et al., 2015).

VII – 4. 1. 2. Prise en compte des catégories de statut pondéral et de l'Indice de Masse Corporelle

Une autre force de ce travail est la prise en compte de trois catégories de statut pondéral. En effet, la majorité des études cherchant à mieux comprendre l'obésité se focalisent sur les individus en obésité, en comparaison aux individus normo-pondéraux. Dans certains cas, on retrouve également des études comparant des individus normo-pondéraux à des individus en surpoids et en obésité au sein d'un même groupe. Dans les études disponibles en psychologie, on trouve peu de données sur les individus dont l'IMC se situe entre 25 et 30 kg/m² (Yang et al., 2018). Cela tend à minimiser l'importance et les particularités du surpoids (IMC ≥ 25kg/m² et < 30kg/m²), que l'on retrouve pourtant pour 37% des hommes et 27% des femmes en France (Verdot et al., 2017). Une des hypothèses qui sous-tendaient ce projet était que les individus en

surpoids se situeraient entre les individus normo-pondéraux et les individus en obésité, sur les plans cognitifs et comportementaux. Le présent travail a permis d'apporter des éléments de compréhension quant à ce statut pondéral si rarement investigué en dehors des comorbidités, d'une part via la sensibilité à des stimuli alimentaires non-attentivement perçus (Mas et al., 2020, **chapitre III**), et d'autre part via la classification dans des clusters différents (**chapitre VI**) des participants présentant un surpoids.

De même, nos travaux ont permis de mettre en avant des liens entre les variables associées à l'IMC (capacités d'inhibition (**chapitre V**) ; consommation d'aliments gras salés, insatisfaction vis – à – vis de la santé, insatisfaction corporelle, recherche de sensations liée à l'impulsivité (**chapitre VI**)) qui ne se retrouvaient pas au niveau des catégories de statut pondéral. Nos résultats tendent ainsi à comprendre l'excès pondéral comme un continuum plutôt que comme des catégories fermées. Ces travaux permettent ainsi d'orienter la recherche vers de nouvelles catégorisations du statut pondéral, plus représentatives des caractéristiques du surpoids et de l'obésité (Guy-Grand, 2008; Padwal et al., 2011).

VII – 4. 1. 3. Développement méthodologique

Afin de mesurer précisément les biais attentionnels envers les aliments et le déficit de contrôle inhibiteur face aux aliments, nous avons adapté des tâches issues de la psychologie cognitive à l'alimentation afin de mesurer indirectement ces processus. Ce développement méthodologique a été réalisé de manière à utiliser des paramètres fiables, innovants et qui sont comparables aux méthodologies existantes dans la littérature.

Le développement de la Food-Adapted Visual Probe Task (détails des apports **chapitre II**) et de la modified Affective Shifting Task (détails des apports **chapitre III**) nous ont permis de sélectionner les paramètres adéquats aux sciences des aliments en nous basant sur des tâches classiquement utilisées en psychologie cognitive. Plusieurs innovations issues de notre travail peuvent ainsi être notées :

Mesure des biais attentionnels face à divers types de stimuli pour des individus normo-pondéraux, en surpoids et en obésité

Les biais attentionnels face aux aliments ont pu être caractérisés dans plusieurs situations pour un même individu. Les paires d'images réalisées pour la Food-adapted Visual Probe Task

comprenaient des images d'aliments à haute densité énergétique appariées à des stimuli neutres, des images d'aliments à faible densité énergétique appariées à des stimuli neutres, et également des paires d'aliments comprenant un aliment à haute densité énergétique et un à faible densité énergétique. Par cette méthode, nous avons pour la première fois pu comparer les biais attentionnels envers les aliments dans différents contextes : un contexte où les aliments étaient disposés à côté d'images d'objets, et un contexte où deux aliments étaient présentés côté à côté, l'un à haute densité énergétique, et l'autre à faible densité énergétique. L'étude sur les biais attentionnels (Mas et al., 2019, **chapitre II**) est la première à mesurer ces différents biais attentionnels envers les aliments pour un même individu, et à inclure des individus de statut pondéral différent. Par ailleurs, plusieurs études mesurant les biais attentionnels ont utilisé des temps d'exposition aux stimuli relativement longs (2000 ms) (Hou et al., 2011; Shank et al., 2015) qui ne mesuraient pas des orientations attentionnelles précoces car les individus avaient le temps de faire plusieurs mouvements attentionnels entre les deux images. En sélectionnant un temps d'exposition de 500ms, les processus observés relevaient ainsi d'une orientation de l'attention plus initiale, en restant comparables avec la littérature (Ahern et al., 2010; Kemps et al., 2016; Loeber et al., 2012; Nijs et al., 2010). Le temps d'exposition aux stimuli a également été choisi de façon à ce que la tâche puisse éventuellement être combinée à des mesures en éléctroencéphalographie dans le futur.

Mesure du contrôle inhibiteur face à plusieurs types de stimuli pour des individus normo-pondéraux, en surpoids et en obésité

De la même manière, notre travail sur le contrôle inhibiteur (Mas et al., 2020, **chapitre III**) est le premier à différencier le déficit de contrôle inhibiteur face aux aliments à faible et haute densité énergétique tout en présentant à la fois une condition contrôle. En effet, jusqu'alors, plusieurs de ces études s'étaient focalisées sur le déficit de contrôle inhibiteur face uniquement à des aliments à haute densité énergétique (Batterink et al., 2010; Price et al., 2016). Beaucoup d'études avaient mesuré le déficit d'inhibition en utilisant des tâches de Go/no-Go : deux types de stimuli étaient présentés successivement aux participants. L'un était associé à la consigne « détecter » (Go) et l'autre à la consigne « ignorer » (no-Go), ce qui permettait de mesurer le contrôle inhibiteur des individus face à un type particulier de stimuli (mesuré par le nombre d'erreurs de détection des stimuli no-Go). Avec l'Affective Shifting Task, il est possible de mesurer le déficit de contrôle inhibiteur par rapport à différents stimuli, de par le changement de consigne inhérent à cette tâche (Meule, 2017). Plusieurs auteurs ayant utilisé des méthodes

similaires s'étaient jusqu'alors concentrés sur le déficit de contrôle inhibiteur face uniquement à des aliments à haute densité énergétique en le comparant à un déficit de contrôle inhibiteur face à des stimuli neutres (Loeber et al., 2012; Meule et al., 2014; Mobbs et al., 2011). La plus-value de l'adaptation de l'Affective Shifting Task dans nos travaux est le fait d'ajouter des images d'aliments à faible densité énergétique, permettant d'observer la différence de traitement cognitif des stimuli alimentaires à haute et faible densité énergétique. Une seule étude à notre connaissance a mesuré ces aspects, mais uniquement sur des individus de statut pondéral normal (Teslovich et al., 2014). Ainsi, le fait de pouvoir mesurer un déficit de contrôle inhibiteur face aux aliments à haute et faible densité énergétique, ainsi que face à des stimuli neutres pour des individus de statut pondéral différent constitue une innovation importante de ce travail.

Mesure de la charge cognitive dans l'efficacité du contrôle inhibiteur face aux aliments pour des individus normo-pondéraux, en surpoids et en obésité

La modified Affective Shifting Task que nous avons utilisée est la première à considérer le changement de consigne comme un ajout de charge cognitive. En effet, le changement de consigne était précédemment utilisé afin de mesurer la flexibilité mentale des individus (Mobbs et al., 2011). Les individus ayant de moins bonnes performances en condition de charge cognitive, auraient selon ces auteurs, une moins bonne flexibilité face aux aliments. Néanmoins, il n'est pas possible avec l'Affective Shifting Task de discriminer les participants qui ont une moins bonne flexibilité mentale car ils continuent d'appliquer les consignes du set précédent de façon automatique (déficit de flexibilité comportementale), de ceux qui ont une moins bonne performance parce qu'ils ont du mal à intégrer la nouvelle consigne (déficit de flexibilité cognitive) (Miyake et al., 2000; Roberts et al., 2007). Le terme de charge cognitive, en lien avec la performance et l'effort mental (Paas, Renkl, et al., 2003; Paas, Tuovinen, et al., 2003; Sweller et al., 2019) reflète des caractéristiques intrinsèques à la tâche, et n'est pas basé sur les performances des participants dont l'interprétation semble ambigüe. La conceptualisation du changement de consigne en tant que « charge cognitive » dans la modified Affective Shifting Task (Mas et al., 2020, **chapitre III**) permet ainsi de comprendre ce paramètre comme étant indépendant des capacités cognitives de l'individu, mais influençant néamoins le contrôle inhibiteur. Il apparaît néanmoins intéressant de coupler des mesures de flexibilité mentale à une Affective Shifting Task afin de mieux comprendre l'implication de la flexibilité mentale dans le contrôle cognitif face aux aliments (Meule, 2017).

Contrôle appliqué aux stimuli visuels utilisés

Le contrôle rigoureux que nous avons réalisé au sujet des stimuli visuels (images d'aliments et d'objets) attribue une forte plus-value aux méthodes développées. Ce contrôle est issu à la fois de la psychologie par le maintien constant des paramètres visuels, et des sciences des aliments, par un contrôle basé sur la perception du consommateur. Dans un premier temps, l'usage d'une base d'images standardisées (Blechert et al., 2014) nous a permis de prendre en compte les paramètres psychophysiques des images (taille, luminosité, contraste, couleurs, complexité et fréquence spatiale). Dans un second temps, des questionnaires en ligne remplis par des participants indépendants aux études menées nous ont permis de contrôler la perception des images par des consommateurs en évaluant plusieurs paramètres (hédonicité, appétence, valeur calorique perçue, valeur santé perçue, typicité et fréquence d'occurrence environnementale). Cela nous a permis de construire des paires de stimuli dont la seule différence était la densité énergétique suggérée par l'image car tous les autres paramètres étaient contrôlés.

VII- 4. 2. Limites

VII – 4. 2. 1. Utilisation d'images de fruits comme stimuli à faible densité énergétique

Afin de nous focaliser uniquement sur des stimuli sucrés, de manière congruente avec les odeurs utilisées (poire, quatre-quarts), les images d'aliments à faible densité énergétique dans notre étude étaient exclusivement des fruits. Les images d'aliments à haute densité énergétique étaient plus variées dans leur présentation. En effet, il est difficile de trouver des aliments sucrés à faible densité énergétique, correctement identifiables par les participants.

Les fruits sont des aliments fréquemment consommés crus et non-transformés. De ce fait, ils peuvent être plus facilement distinguables. Ils sont prototypiques de la catégorie « aliments », bien connus des individus, et appartiennent à une catégorie universellement connue (Toet et al., 2019). Les fruits sont donc plus facilement et rapidement identifiables et catégorisables que des images d'aliments à haute densité énergétique ou des objet (Rioux et al., 2016). Par ailleurs, les deux autres catégories de stimuli utilisés (aliments à haute densité énergétique et les objets) apparaissent de façon beaucoup plus diversifiée (aliments à haute densité énergétique : plusieurs types de gâteaux, gaufres, glaces, bonbons ; objets : balai, boulons, horloge,

agrafeuse) tandis que les aliments à faible densité énergétique appartenaient toujours à la même catégorie, c'est-à-dire des fruits. Cette distinction est également valable dans la vie quotidienne : il y a moins de diversité de présentations de fruits dans la vie quotidienne en comparaison aux aliments à haute densité énergétique, qui sont souvent plus variés. Par ailleurs, la distinction entre les aliments « naturels » et transformés est importante au-delà de la densité énergétique au niveau de la perception (Rumiati & Foroni, 2016). Cela indique une limite à l'usage de fruits comme aliments à faible densité énergétique dans les études visant à mesurer des processus cognitifs.

Une hypothèse intéressante à creuser serait celle d'une identification précoce des fruits par rapport aux autres aliments. Dans nos travaux, cette théorie peut être appuyée par le nombre d'erreurs d'omission réalisées par les participants dans l'étude 2. Ce type d'erreur indique un manque d'attention au stimulus, et est caractérisé par un stimulus « go » qui aurait dû être détecté mais qui ne l'a pas été durant l'intervalle de 500ms. Ce type d'erreur peut correspondre à un recrutement bottom-up des ressources attentionnelles qui est insuffisant pour que le participant émette une réponse en 500 millisecondes, ou à une situation pour laquelle des effets d'interférence ralentissent le traitement cognitif et empêchent la détection d'arriver durant les 500ms destinées à la réponse du sujet. Les participants ont fait plus d'erreurs d'omission face aux aliments que face aux stimuli neutres, ce qui souligne la saillance des aliments. Néanmoins, la proportion d'erreurs d'omission pour les stimuli à haute densité énergétique était plus élevée, ce qui signifie que le traitement cognitif des aliments à haute densité énergétique a moins souvent atteint un seuil de décision permettant la détection du stimulus durant la fenêtre temporelle de 500ms permise par la tâche. Connaissant la saillance des aliments à haute densité énergétique, ces données supportent l'hypothèse d'une interférence associée aux aliments à haute densité énergétique, caractérisée par un maintien du focus attentionnel. De plus, les participants ont fait moins d'erreurs d'omission face aux aliments à faible densité énergétique. Sachant que ces aliments sont moins saillants, ces données contribuent à l'hypothèse d'une identification plus précoce des fruits. En effet, si les fruits bénéficient d'une identification précoce et d'une saillance associée aux aliments, il est possible qu'ils aient été catégorisés comme étant des aliments plus tôt et donc détectés plus rapidement, comme l'illustre le faible nombre d'erreurs d'omission pour ces stimuli. (**Figure 19**)

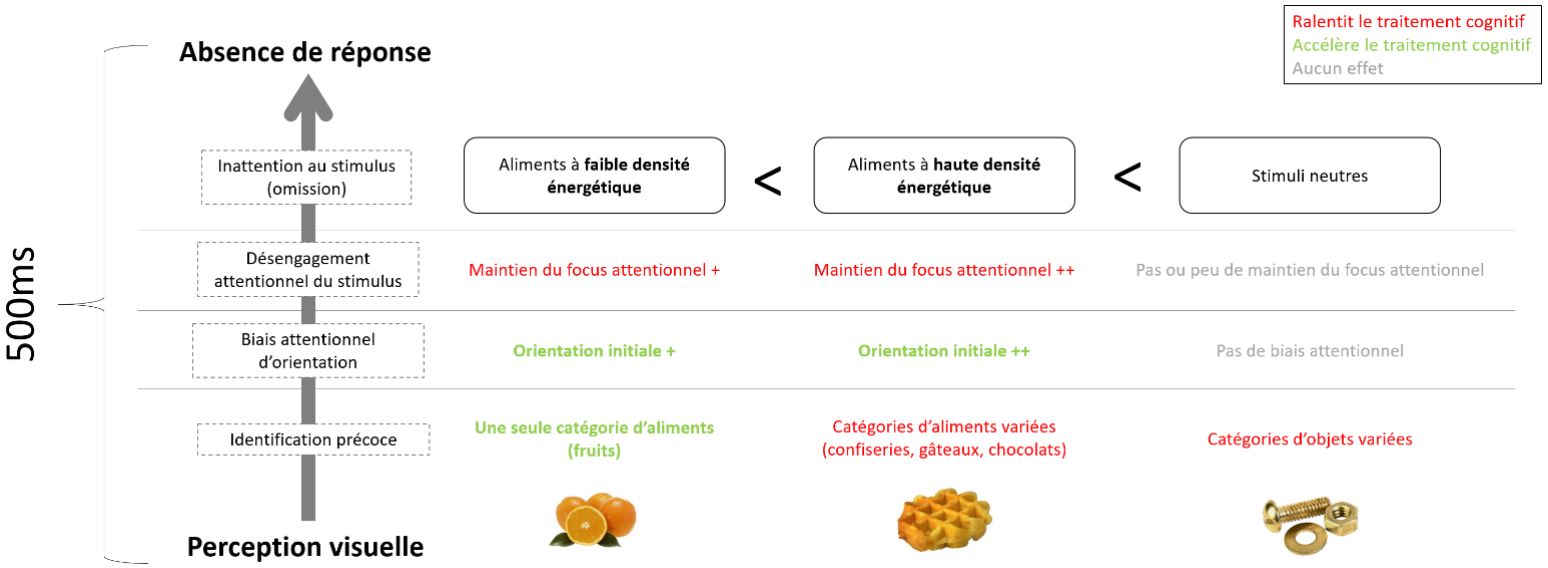


Figure 19 - Explication du nombre d'omissions élevé en lien avec la présence d'une catégorie unique d'images d'aliments à faible densité énergétique : les fruits. Références de la figure : biais attentionnel (Mas et al., 2019) ; désengagement attentionnel et omissions (Mas et al., 2020), voir Figure 13.

VII – 4. 2. 2. Des travaux menés en laboratoire

Une seconde limite à la généralisation de nos résultats est la réalisation de nos expériences en laboratoire (Meiselman, 2019). En effet, nos études expérimentales ont exposé les participants à des odeurs d'une manière qui tentait de répliquer les phénomènes qu'un individu pouvait rencontrer dans son environnement. Comme nous l'avons vu précédemment, l'environnement alimentaire est très riche, et va stimuler l'individu de manière multimodale : visuelle (publicités, restaurants), auditive (messages de prévention, publicités à la radio), et olfactive (odeurs de nourriture émises par les restaurants dans la rue, marketing olfactif), de façon imprévisible dans le temps et l'espace. Bien souvent, cet individu se trouve dans des situations émotionnelles qui peuvent moduler l'effet de ces stimuli en activant des représentations mentales particulières. En effet, l'activation des représentations mentales liées à l'alimentation sont très dépendantes du contexte (Blake et al., 2007). En laboratoire, toutes les conditions ont été contrôlées afin d'être les plus neutres possibles de façon à ce que les participants puissent se concentrer sur les

tâches à réaliser[25]. Ces conditions nous ont permis de comparer les performances des différents participants dans un environnement neutre, mais le caractère écologique de ces conditions pourrait être amélioré de façon à être plus représentatif de l'environnement réel dans lequel l'individu évolue au quotidien. Des études ont tenté de rendre les études sur l'alimentation en laboratoire plus écologiques, par exemple en créant un décor de restaurant en laboratoire (Joyner et al., 2017), en utilisant des buffets (Friis et al., 2017), ou bien des environnements en réalité virtuelle.

[25] Les participants n'étaient par exemple confrontés à aucune charge cognitive supplémentaire que celle imposée par la tâche. Les expériences se passaient dans une salle contenant le moins de stimulations possibles (murs blancs, odeur neutre, silence, téléphone portable éteint, participants dans des box individuels).

CHAPITRE VIII – Perspectives et conclusions

VIII – 1. Futures directions

VIII – 1. 1. Prise en compte de la charge cognitive

Les résultats présentés en **chapitre III** (Mas et al., 2020) ont montré que la charge cognitive avait pour effet de diminuer l'efficacité du contrôle inhibiteur pour tous les individus (statut pondéral normal, surpoids et obésité), uniquement face aux aliments. Ce résultat est intéressant, car dans un environnement très riche en stimulations, la charge cognitive peut rapidement devenir plus élevée (Cohen, 2008a). Par ailleurs, des stresseurs[26] de la vie quotidienne peuvent également augmenter la charge cognitive et amener les individus à adopter des comportements étant à l'opposé de leurs buts (Wegner, 1994). Des stresseurs fréquemment observés chez les individus en obésité sont par exemple de plus faibles revenus (Kim & Knesebeck, 2018), la discrimination perçue (R. Puhl & Brownell, 2001), la menace du stéréotype associé à l'obésité (Major et al., 2014), et les problèmes de santé psychologiques (anxiété, dépression, faible estime de soi, Sarwer & Polonsky, 2016). La présence de ces stresseurs associés à un IMC plus élevé peut faire en sorte que les individus soient enclins à une plus forte charge mentale dans leurs prises de décision quotidiennes. Lattimore et al., en 2004, avaient observé que la restriction pouvait moduler les effets de la charge cognitive, lorsque les participants étaient amorcés avec des concepts menaçant leur égo (« échec », « stupide », « laid », « inférieur » (Lattimore & Maxwell, 2004). Il serait intéressant de mieux comprendre comment les facteurs périphériques au comportement alimentaire, comme les ruminations[27] par exemple, modulent la présence de charge cognitive au quotidien, et de voir comment cette charge pourrait être liée au statut pondéral. Par ailleurs, l'omniprésence de stimulations cognitives dans notre environnement peut également correspondre à une forme de charge cognitive (Cohen, 2008a), ce qui constitue également une piste pour de futures recherches.

[26] Par stresseurs, il est entendu ici des facteurs qui peuvent créer du stress chez les individus.

[27] Les ruminations sont le fait d'être assailli mentalement des pensées pensées négatives et répétitives. Il s'agit d'un symptôme fréquemment observé dans plusieurs troubles anxio-dépressifs comorbides à l'obésité (American Psychiatric Association, 2013)

VIII – 1. 2. Meilleure compréhension des obésités

Ce travail a permis l'exploration de l'obésité sous divers aspects : cognitif (**chapitre II, III, V**), olfactif (**chapitre IV**) et psychologique (**chapitre VI**). L'absence de lien entre le statut pondéral « obésité » et les variables observées dans ces trois domaines[28] malgré la présence d'un lien avec l'IMC, amène à penser qu'il existe une variabilité importante des individus en obésité et en surpoids. Les spécificités de l'obésité observées dans nos études se rapportent à des niveaux très automatiques (biais attentionnels, réactivité) et non-conscients (effet d'amorces implicites) du traitement de l'information alimentaire. Lors d'une tentative de classification, en **chapitre VI**, nous avons pu observer plusieurs profils comprenant des individus de statut pondéraux divers. Ces résultats soulignent l'importance de mieux classifier les formes d'obésité par la recherche.

Les travaux présentés dans ce manuscrit se sont basés sur une classification de l'obésité commune : l'IMC. Néanmoins, de nouvelles classifications voient le jour, comme par exemple l'Edmonton Obesity Staging System (E.O.S.S – **Figure 19**) et le French Obesity Staging System (F.O.S.S. – **Figure 20**). Ce type d'outils permet d'évaluer les conséquences médicales, physiques, psychologiques et fonctionnelles du patient en se basant partiellement sur la classification de l'OMS (WHO, 2020b). Selon la classification d'Edmonton (EOSS), un patient en obésité massive (IMC > 40kg/m²), pourra soit faire partie du stade 1 de l'obésité, s'il a peu de symptômes physiques et psychologiques, une qualité de vie non-impactée par sa condition, soit faire partie du stade 3 (ou 4) de l'obésité s'il présente des symptômes physiques et psychologiques importants, une limitation fonctionnelle ainsi qu'un impact majeur sur sa qualité de vie. Il est important de faire ce type de distinctions afin de pouvoir appréhender plus facilement le type d'obésité, et de diriger le patient vers le traitement le plus adéquat. Dans l'exemple précédent, un patient au stade 1 avec un IMC > 40kg/m² sera davantage dirigé vers une prise en charge comportementale et axée sur la prévention des risques, tandis qu'un patient au stade 3 ou 4 sera davantage orienté vers des lignes de traitements de l'obésité plus lourds (comme la chirurgie bariatrique par exemple) ainsi qu'une prise en charge des comorbidités (Sharma & Kushner, 2009). Une version alternative à l'EOSS, le French Obesity Staging System (FOSS) a également été développée par le Groupe de Coordination et de Concertation

[28] En dehors des effets d'amorçages non-attentivement perçus

et Centres Spécialisés de l'Obésité (GCC-CSO) en France, afin de mieux prendre en compte l'évolution de l'obésité ainsi que les déficiences associées (Ziegler, 2014). En plus d'orienter le traitement vers des stratégies plus individualisées en fonction de la symptomatologie de l'obésité, ces systèmes de classification permettent une meilleure évaluation de la morbidité et de la mortalité des patients. Brüher et al., 2020, proposent ainsi d'orienter davantage le traitement de l'obésité vers une prise en charge des effets sur la santé que sur la perte de poids (Blüher, 2020).

	STADE 0	STADE 1	STADE 2	STADE 3	STADE 4
Facteurs de risques liés à l'obésité	Aucun	Le patient présente des facteurs de risques subcliniques	Le patient présente une comorbidité liée à l'obésité qui nécessite une intervention médicale (diabète de type 2, apnée du sommeil..)	L'obésité du patient atteint les organes cibles	Impact sévère des comorbidités physiques
Symptômes physiques	Aucun	Le patient a des symptômes physiques modérés (fatigue, dyspnée à l'effort) qui ne nécessitent pas de traitement médical			
Symptômes psychologiques	Aucun	Le patient a des symptômes psychologiques modérés	Le patient a des symptômes psychologiques modérés	Le patient a des symptômes psychologiques liés à l'obésité (dépression, idées suicidaires)	Symptômes psychologiques sévères et handicapants
Limitations fonctionnelles	Aucun	Impact modéré de l'obésité sur la qualité de vie	La qualité de vie commence à être impactée	Limitations fonctionnelles significatives Le bien être du patient est sévèrement atteint	Limitations fonctionnelles sévères
Indice de Masse Corporelle	Entre 30 et 34.9/kgm²	> 40kg/m²	Entre 35 et 39.9/kgm²	> 40kg/m²	> 40kg/m²
Traitement suggéré	Prévention	Prévention	Intervention médicale	Intervention médicale	Intervention médicale

Figure 20 - Classification des obésités selon l'Edmonton Obesity Staging System (E.O.S.S.). Références de la figure : Sharma & Kushner, 2009

Addition des scores A+B+C+D

4 dimensions	0	1	5	20	100
A : IMC (kg/m²) + Adiposité abdominale	25 – 29.9 Pas d'adiposité abdominale	30 – 34.9 ou > 25 avec Adiposité Abdominale	35 – 39.9	40 – 49.9	> 50
B : Déterminants	Aucune	TCA modérés Sédentarité	TCA sévères Facteurs de résistance à la perte de poids Précarité	TCA très sévères Psychopathologies Traumatismes Handicap	Obésité rare (génétique, inflammatoire, etc.)
C : Morbidités	Aucune	Niveau 1 (pas de trt ou dispositif medical)	Niveau 2 : pathologie avérée / impact psychologique	Niveau 3 : Pathologies évoluées	Défaillance fonctionnelle d'un organe
D : Vie quotidienne	Aucun	Impact modéré	Retentissement	Altération	Dépendance

Score	0	1-4	5-20	21-80	> 100
Grade	Surpoids	Ob. Modérée	Ob. Sévère	Ob. Très sévère	Ob. extrême

Figure 21 - Classification des obésités selon le French Obesity Staging System (F.O.S.S.). Références de la figure : Chamant & Lebeau, 2018.

VIII – 1. 3. Implications cliniques.

VIII – 1. 3. 1. Prise en compte des facteurs cognitifs en clinique

Dans une perspective de prise en compte des facteurs modulant le comportement alimentaire, il pourrait être intéressant d'approfondir les liens entre les différents stades de surcharge pondérale et les facteurs psychologiques et cognitifs. L'utilisation en clinique de tests neuropsychologiques permet d'évaluer certaines capacités cognitives pouvant impacter la vie du patient en obésité (inhibition, flexibilité) comme nous l'avons vu dans le **chapitre IV**. En effet, des capacités cognitives moins efficaces contribuent à déséquilibrer la balance énergétique et limitent l'efficacité des traitements de l'obésité (inefficacité des mesures diététiques, rebond pondéral après chirurgie bariatrique), indépendamment de la volonté des patients. La passation de tests rapides (moins de 10 minutes) et standardisés tels qu'utilisés dans le **chapitre IV** évaluent le patient de façon plus précise, et donc permettraient une prise en charge des individus plus personnalisée (pour une revue des tests les plus utilisés en clinique, voir Groupe de réflexion sur l'evaluation des fonctions exécutives (GREFEX), 2001).

Dans ce travail de thèse, il faut rappeler que la composition de notre échantillon excluait les individus avec un trouble du comportement alimentaire ainsi que les individus ayant des comorbidités physiques invalidantes et un traitement médical affectant les performances cognitives. Nous avons donc montré que des individus « sains » et en obésité pouvaient manifester des déficits cognitifs susceptibles de les mettre en difficulté face à certains types de traitements. Cette particularité mesurée dans le cadre du traitement de l'obésité pourrait aider à quantifier le niveau d'adaptation nécessaire à un traitement comportemental, ou bien nécessitant une adhésion particulière (observance des rendez-vous, d'un traitement médicamenteux, ou d'une intervention diététique).

VIII – 1. 3. 2. Informations sur les facteurs psychologiques de l'obésité

Dans une étude de 2015 incluant des médecins généralistes, des cardiologues et des endocrinologues, il a été montré que, bien que la majorité de ces professionnels considèrent l'obésité comme une maladie, la moitié d'entre eux considérait également qu'elle était due à un manque de contrôle de soi (Glauser et al., 2015). Ce type de préjugés relève du stigma de l'obésité, et les attitudes discriminantes envers les personnes en excès pondéral se retrouvent autant chez les professionnels de santé qu'en population générale (Sabin et al., 2012). Une autre étude, réalisée en France cette fois-ci, montre que les médecins généralistes[29] évaluent les apports alimentaires comme étant un facteur de risque significativement plus important dans l'obésité que le stress, les problèmes hormonaux et la précarité. Par ailleurs, les médecins jugent les conséquences médicales de l'obésité comme plus importantes que les conséquences psychologiques ou sociales (Bocquier et al., 2005). Ces données montrent que les aspects indépendants de la motivation des individus dans l'obésité (facteurs psychologiques et sociaux, comportements alimentaires automatiques) ne sont pas bien intégrés par les professionnels de santé (Glauser et al., 2015), alors que le rôle de ces professionnels est primordial dans le bon déroulement du parcours de soin. Cette manière de comprendre l'obésité peut amener à des attitudes et des comportements relatifs au stigma de l'obésité qui sont très présentes chez les soignants (R. M. Puhl & Heuer, 2010). Cela peut notamment amener les professionnels de santé à prescrire des pertes de poids significativement plus élevées que celles recommandées par les autorités de santé (Bocquier et al., 2005), et donc compromettre la réussite du traitement en

[29] Médecins les plus fréquemment consultés par la population générale

entretenant le cercle vicieux de l'obésité (voir **chapitre I – Figure 4**). Nos travaux appuient l'hypothèse largement répandue en recherche qu'une composante automatique semble régir les processus cognitifs liés aux stimuli alimentaires, surtout chez les individus en obésité plus vulnérables à l'environnement (**chapitres II et III**), et chez les individus en situation de charge cognitive (**chapitre III**). Par ailleurs, dans le **chapitre VI**, nous avons démontré que les individus les plus « vulnérables » à la surcharge pondérale ressentaient plus d'insatisfaction corporelle, plus d'émotions négatives, et étaient moins satisfaits de leur vie en général. Une étude de 2020 a démontré que ces aspects étaient très en lien avec le vécu du stigma de l'obésité et l'internalisation de celui-ci[30] par les individus en excès pondéral (Godoy-Izquierdo et al., 2020). Ainsi, le renvoi de ce stigma par les soignants peut contribuer à renforcer les difficultés psychologiques des individus, ainsi que leur sentiment d'impuissance (Carmody et al., 1995; Markey et al., 2016), et donc diminuer la probabilité qu'ils consultent ou suivent correctement le traitement qui leur est proposé dans le soin (Phelan et al., 2015; R. M. Puhl & Heuer, 2010). Ces aspects constituent ainsi un facteur de maintien ou d'aggravation de l'état de santé des personnes en obésité, et il est primordial de mieux former les soignants à l'importance des facteurs psychologiques associés afin de mieux pouvoir comprendre et prendre en charge les patients. De cette manière, les patients en obésité seraient mieux protégés du stigma dans la santé, permettant une plus grande adhésion aux parcours de soin et de meilleurs pronostics sur les marqueurs de santé dans l'obésité (R. Puhl & Brownell, 2001). De plus, diminuer le stigma de l'obesité peut permettre aux individus de percevoir leur environnement de manière différente, et ainsi potentiellement de réduire les biais cognitifs automatiques dont ils font preuve (Bandura, 1999).

VIII – 1. 3. 3. Limitation de la publicité

Au travers de ce travail, nous avons démontré que les aliments qui semblaient avoir le plus grand « pouvoir » sur la cognition des individus, indépendemment du statut pondéral, étaient ceux qui présentaient le moins de bénéfices pour la santé et qui favoriseraient l'obésité : les aliments à haute densité énergétique. Il s'agit également des aliments pour lesquels la publicité est omniprésente dans notre environnement quotidien, contribuant au caractère obésogène de

[30] « Une personne qui s'auto-stigmatise plaque les croyances discriminantes sur sa propre personne, la menant ainsi à se dévaloriser et à perdre l'estime d'elle-même » (Cavayas et al., 2012; Gargiulo & Rosenblum, 2015).

celui-ci. En effet, l'omniprésence de stimuli alimentaires contribue à la charge cognitive : cette charge cognitive laisse moins de ressources cognitives pour l'autorégulation du comportement et tend à amener les individus vers des choix alimentaires plus caloriques (Zimmerman & Shimoga, 2014). Comme nous l'avons vu dans le **chapitre I (section 1. 4.)**, le marketing des produits alimentaires à haute densité énergétique influence les attitudes des individus vis-à-vis de ces produits (Chandon & Wansink, 2012), ce qui les amène à les choisir plus facilement (Spence, 2017). Le fait de limiter la publicité pour les produits de mauvaise qualité nutritonnelle est une stratégie intéressante (Hill et al., s. d.), mais difficile à mettre en place (cf **chapitre I, section 1. 4. 4.**). Par ailleurs, le fait de mettre en avant l'aspect « santé » des produits, et de rendre plus visibles les recommandations diététiques peuvent contribuer à un effet de « cacophonie » qui créée la confusion chez le consommateur (Gracia Arnaiz, 2001), car, comme nous l'avons démontré au cours de ce travail, plus la charge cognitive est forte, plus le déficit de contrôle inhibiteur est élevé face aux aliments. Cela constitue une explication plausible à l'effet modéré des interventions visant à promouvoir un régime alimentaire sain sur la population générale : en effet, les individus ayant le plus faible niveau de littéracie sont également ceux qui seraient le plus susceptibles de bénéficier de ces interventions. Les individus avec de moins bonnes capacités globales de contrôle cognitif, comme les individus avec un IMC plus élevé, pourraient également être plus vulnérables dans un environnement riche en stimuli, ce qui les amènerait à faire des choix de moins bonne qualité nutritionnelle. A ce niveau, la France a intégré dans le programme national nutrition santé 2019-2023 (Ministère des solidarités et de la santé, 2020) des solutions visant à limiter la publicité. Elle encourage un code de conduite visant à réduire efficacement l'exposition des enfants aux communications commerciales audiovisuelles relatives aux aliments et boissons à haute densité énergétique et à faire en sorte qu'elles ne mettent pas en évidence le côté positif des aspects nutritionnels de ces aliments et boissons (Ministère des solidarités et de la santé, 2020).

VIII – 1. 3. 4. Tester expérimentalement de nouvelles manières de prévenir des choix alimentaires de mauvaise qualité nutritionnelle.

Afin de garantir l'efficacité des messages de nutrition, il est important que ceux-ci soient conformes aux cognitions de l'audience cible, comme par exemple leur vision de l'alimentation (Blake et al., 2007). Il serait donc intéressant de caractériser les modes de communication qui seraient les plus adaptés aux individus de statut pondéral plus élevé par la compréhension des

caractéristiques cognitives de ces messages. Dans le cadre de l'addiction, comme pour les individus avec un IMC élevé, les individus manifestent un niveau de recherche de sensations élevé (**chapitre VI**). En 1998, des chercheurs américains se sont intéressés à la manière de faire diminuer la consommation de cannabis chez des adolescents avec un fort score de recherche de sensations (Palmgreen et al., 2002). Afin de maximiser les probabilités d'atteindre les individus avec un fort score de recherche de sensations, plusieurs techniques ont été utilisées :

1. Les spots publicitaires comprenaient des stimuli associés aux sensations recherchées typiquement par les individus avec un niveau élevé de recherche de sensations, comme la nouveauté, et les émotions fortes par exemple.

2. Les risques évoqués dans les spots publicitaires ont été choisis en se basant sur les risques reportés par le public cible (adolescents avec un fort score de recherche de sensations), et validés par les instances de santé publiques locales, afin de maximiser la proximité entre les risques perçus par les individus ciblés par la publicité et les risques réels des comportements à risques. Cette technique peut facilement être adaptée aux individus en surpoids et en obésité.

3. Les spots publicitaires ont été placés entre des programmes télévisés que des individus cible déclaraient regarder fréquemment, aux heures auxquelles cette population se trouvait face aux spots ; afin de s'assurer qu'en moyenne au moins 3 spots publicitaires pouvaient être vus par semaine. La mise en place de messages par divers canaux constitue un levier particulièrement important et très utilisé par les programmes de prévention actuels.

4. Les individus représentés dans les publicités étaient des acteurs manifestant un comportement similaire à celui de la population cible (haute recherche de sensation). Dans le cas de l'obésité, cette stratégie est intéressante à mettre en place, mais dangereuse car elle peut activer la stigmatisation, et donc avoir un effet contre-productif : il apparaît donc nécéssaire d'être prudent (Herman & Polivy, 2002; R. M. Puhl et al., 2013).

A la suite de la diffusion de ces spots publicitaires, les résultats observés étaient encourageants car, sur une large cohorte d'individus, la consommation de cannabis avait baissé d'environ 26% (Palmgreen et al., 2002). Cette étude montre qu'en ciblant des individus particuliers, et en se

basant sur leurs caractéristiques individuelles pour créer des moyens de prévention qui leur ressemblent, diffusés par des moyens et à des heures qui leur correspondent, la simple diffusion d'un message peut être très efficace. Dans la même lignée qu'une meilleure caractérisation des individus vulnérables à l'obésité, il serait intéressant pour de futures recherches de tester expérimentalement quelles sont les meilleures manières de diffuser un message de santé en fonction de ces caractéristiques. Nos travaux ont montré que les aliments à haute densité énergétique étaient attentionnellement saillants (**chapitre II**), et que les individus les plus vulnérables avaient un style alimentaire plus externaliste et plus émotionnel, ressentaient plus d'émotions négatives ainsi qu'une forte insatisfaction corporelle (**chapitre VI**). Ces éléments constituent des leviers intéressants à inclure dans des approches de prévention visant à être testées en laboratoire.

Par ailleurs, nos travaux ont montré qu'il semble plus facile pour les individus d'« aller vers » quelque chose, que de les empêcher de faire quelque chose. L'utilisation de moyens motivant les individus à faire des choix de meilleure qualité nutritionnelle de façon automatique (Dayan & Bar-Hillel, 2011; Marteau et al., 2012; Rozin et al., 2012; Thaler & Sunstein, 2009) paraît plus efficace que les injonctions à ne pas manger un type de produit (« *pour votre santé, ne mangez pas trop gras, trop sucré, trop salé* », voir **chapitre I, section 1. 4. 4.**). De nouvelles recommandations du PNNS 4 en France visent par exemple à indiquer aux individus d'« aller vers » des aliments de meilleure qualité nutritionnelle[31] (Ministère des solidarités et de la santé, 2020). Il sera intéressant de comparer les effets de ces politiques d'implémentation de nouveaux choix nutritionnels en comparaison aux injonctions traditionnellement utilisées, comme par exemple « ne pas manger trop gras trop sucré trop salé », ou bien « mangez 5 fruits et légumes par jour ».

Finalement, les conclusions de nos travaux rejoignent celles de plusieurs auteurs qui suggèrent qu'il est primordial de mettre de côté le paradigme prévalent qui définit la santé des individus en se basant sur leur poids (*weight normative approach to health*, Blüher, 2020; Tylka et al., 2014). Les données et les arguments les plus récents (revue, voir Ministère des solidarités et de la santé, 2020) sont en faveur d'un nouveau paradigme plus inclusif, qui définirait la santé par l'amélioration des indices de santé physiques (tension artérielle), comportementaux

[31] les féculents complets et les huiles de colza et de noix par exemple

(hyperphagie) et psychologiques (depression), (*health at every size,* Tylka et al., 2014), plutôt que par une perte de poids. De nouvelles méthodes de réduction de l'obésité voient ainsi le jour, comme par exemple le développement de l'alimentation intuitive (Bruce & Ricciardelli, 2016) qui réapprend aux individus à écouter leurs signaux de faim et de satiété sans interdictions alimentaires, ou bien la pratique d'une activité physique axée sur le plaisir du mouvement plutôt que sur l'image du corps à atteindre (Tylka et al., 2014). Ces nouvelles approches laissent à penser que dans le futur, les conceptualisations de l'obésité et les manières que nous avons de traiter et de prévenir les conséquences négatives qui lui sont associées seront drastiquement modifiées.

VIII – 2. Conclusions

Au travers de ce travail de thèse, nous avons mis en lumière un traitement cognitif particulier vis-à-vis des stimuli alimentaires chez tous les individus. Le traitement cognitif particulier de l'information alimentaire peut ainsi constituer une vulnérabilité dans un environnement qui surcharge l'individu d'informations et regorge d'occasions de consommer des aliments à haute densité énergétique. Il paraît ainsi nécessaire d'agir sur l'environnement pour le rendre moins tentant pour l'individu, que ce soit en proposant systématiquement des alternatives de meilleure qualité nutritionnelle aux produits de mauvaise qualité nutritionnelle, ou en limitant la publicité pour les aliments gras, salés, ou sucrés.

Nos résultats permettent de mieux comprendre les effets automatiques de stimuli alimentaires de l'environnement sur la cognition. En effet, nous avons pu décrire comment les odeurs non-attentivement perçues modulaient les processus bottom-up dans le traitement de l'information alimentaire, de manière différente selon le statut pondéral et selon les odeurs. D'une part, cela appuie le fait que les stimuli insidieux de l'environnement modulent la cognition de façon automatique, pouvant biaiser les comportements, ce qui valide la présence d'une composante qui agit au-delà de la conscience des individus. D'autre part, ces résultats témoignent de l'importance de mieux comprendre les représentations mentales qui pourraient être spécifiques aux individus de statut pondéral plus élevé (surpoids, obésité).

En plus d'une vulnérabilité cognitive des individus en obésité aux stimuli signalant des aliments gras-sucrés non-attentivement perçus, plusieurs profils d'individus ont pu être identifiés, certains étant plus vulnérables à l'environnement obésogène que d'autres. Ces observations

appuient le fait que plusieurs sous-types d'obésité gagneraient à être davantage caractérisés, en recherche comme en clinique afin de permettre une prévention et des modalités de traitement plus individualisées, ainsi qu'une meilleure compréhension des effets de la surcharge pondérale. De nouvelles classifications de l'obésité et la possibilité de créer des messages de prévention ciblés pourraient augmenter la probabilité d'atteindre les populations ayant des comportements délétères pour la santé, afin d'améliorer leurs choix alimentaires. Par ailleurs, une meilleure compréhension de l'obésité en clinique de par la mise à disposition d'outils pour évaluer et prendre en charge les aspects psychologiques de l'obésité est un levier important pour améliorer la condition des patients en surcharge pondérale.

Références

Aasheim, E. T., Aylwin, S. J. B., Radhakrishnan, S. T., Sood, A. S., Jovanovic, A., Olbers, T., & Roux, C. W. le. (2011). Assessment of obesity beyond body mass index to determine benefit of treatment. *Clinical Obesity*, *1*(2-3), 77-84. https://doi.org/10.1111/j.1758-8111.2011.00017.x

Abdelaal, M., le Roux, C. W., & Docherty, N. G. (2017). Morbidity and mortality associated with obesity. *Annals of Translational Medicine*, *5*(7). https://doi.org/10.21037/atm.2017.03.107

Abdi, H. (2010). Partial least squares regression and projection on latent structure regression (PLS Regression). *WIREs Computational Statistics*, *2*(1), 97-106. https://doi.org/10.1002/wics.51

Ahern, A. L., Field, M., Yokum, S., Bohon, C., & Stice, E. (2010). Relation of dietary restraint scores to cognitive biases and reward sensitivity. *Appetite*, *55*(1), 61-68. https://doi.org/10.1016/j.appet.2010.04.001

American Psychiatric Association. (2013). *Diagnostic and statistical manual of mental disorders : DSM-5* (5th Revised edition). American Psychiatric Publishing.

Anderson, J. R. (1983). *The Architecture of Cognition*. Harvard University Press.

Andrianopoulos, V., Gloeckl, R., Vogiatzis, I., & Kenn, K. (2017). Cognitive impairment in COPD : Should cognitive evaluation be part of respiratory assessment? *Breathe*, *13*(1), e1-e9. https://doi.org/10.1183/20734735.001417

Anses - Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail. (2009). *Étude Individuelle Nationale des Consommations Alimentaires 2 (INCA2)* (p. 159). https://www.anses.fr/fr/system/files/PASER-Ra-INCA2.pdf

Anses - Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail. (2010). *Régimes amaigrissants* (p. 160) [Rapport d'expertise collective]. https://www.anses.fr/fr/content/r%C3%A9gimes-amaigrissants

Anses - Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail. (2017). *INCA 3 : Evolution des habitudes et modes de consommation, de nouveaux enjeux en matière de sécurité sanitaire et de nutrition* [Avis et rapport]. https://www.anses.fr/fr/content/inca-3-evolution-des-habitudes-et-modes-de-consommation-de-nouveaux-enjeux-en-mati%C3%A8re-de

Apfeldorfer, G., & Zermati, J. P. (2001). [Cognitive restraint in obesity. History of ideas, clinical description]. *Presse medicale (Paris, France : 1983)*, *30*(32), 1575-1580.

Références

Appelhans, B. M. (2009). Neurobehavioral Inhibition of Reward-driven Feeding : Implications for Dieting and Obesity. *Obesity*, *17*(4), 640-647. https://doi.org/10.1038/oby.2008.638

Balzan, R., Delfabbro, P., Galletly, C., & Woodward, T. (2013). Confirmation biases across the psychosis continuum : The contribution of hypersalient evidence-hypothesis matches. *British Journal of Clinical Psychology*, *52*(1), 53-69. https://doi.org/10.1111/bjc.12000

Bandura, A. (1976). *Social Learning Theory* (1st edition). Prentice-Hall.

Bandura, A. (1999). Social cognitive theory of personality. In L. A. Pervin & O. P. John (Éds.), *Handbook of personality : Theory and research* (1re éd.). Guilford Press. https://psycnet.apa.org/record/1999-04371-006

Bartoshuk, L. M. (1991). Sensory factors in eating behavior. *Bulletin of the Psychonomic Society*, *29*(2), 250-255. https://doi.org/10.3758/BF03335249

Basdevant, A., & Farah, Z. (2011). Effets iatrogènes. In *Médecine et chirurgie de l'obésité* (p. 292-295). Lavoisier.

Batada, A., Seitz, M. D., Wootan, M. G., & Story, M. (2008). Nine out of 10 Food Advertisements Shown During Saturday Morning Children's Television Programming Are for Foods High in Fat, Sodium, or Added Sugars, or Low in Nutrients. *Journal of the American Dietetic Association*, *108*(4), 673-678. https://doi.org/10.1016/j.jada.2008.01.015

Batterink, L., Yokum, S., & Stice, E. (2010). Body mass correlates inversely with inhibitory control in response to food among adolescent girls : An fMRI study. *NeuroImage*, *52*(4), 1696-1703. https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2010.05.059

Baumann, C., Erpelding, M.-L., Régat, S., Collin, J.-F., & Briançon, S. (2010). The WHOQOL-BREF questionnaire : French adult population norms for the physical health, psychological health and social relationship dimensions. *Revue d'Épidémiologie et de Santé Publique*, *58*(1), 33-39. https://doi.org/10.1016/j.respe.2009.10.009

Baylé, F. J., Bourdel, M. C., Caci, H., Gorwood, P., Chignon, J.-M., Adés, J., & Lôo, H. (2000). Structure factorielle de la traduction française de l'échelle d'impulsivité de Barratt (BIS-10). *The Canadian Journal of Psychiatry*, *45*(2), 156-165. https://doi.org/10.1177/070674370004500206

Beck, A. T., & Alford, B. A. (2009). Treatment of Depression. In *Depression : Causes and Treatment* (p. 265-344). University of Pennsylvania Press.

Beck, A. T., & Clark, D. A. (1988). Anxiety and depression : An information processing perspective. *Anxiety Research*, *1*(1), 23-36. https://doi.org/10.1080/10615808808248218

Références

Beck, A. T., & Haigh, E. A. P. (2014). Advances in cognitive theory and therapy : The generic cognitive model. *Annual Review of Clinical Psychology*, *10*, 1-24. https://doi.org/10.1146/annurev-clinpsy-032813-153734

Benelam, B. (2009). Satiation, satiety and their effects on eating behaviour. *Nutrition Bulletin*, *34*(2), 126-173. https://doi.org/10.1111/j.1467-3010.2009.01753.x

Berridge, K. C. (2003). Pleasures of the brain. *Brain and Cognition*, *52*(1), 106-128. https://doi.org/10.1016/S0278-2626(03)00014-9

Berridge, K. C. (2009). 'Liking' and 'wanting' food rewards : Brain substrates and roles in eating disorders. *Physiology & Behavior*, *97*(5), 537-550. https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2009.02.044

Berridge, K. C., Ho, C.-Y., Richard, J. M., & DiFeliceantonio, A. G. (2010). The tempted brain eats : Pleasure and desire circuits in obesity and eating disorders. *Brain research*, *1350*, 43-64. https://doi.org/10.1016/j.brainres.2010.04.003

Berridge, K. C., & Kringelbach, M. L. (2015). Pleasure systems in the brain. *Neuron*, *86*(3), 646-664. https://doi.org/10.1016/j.neuron.2015.02.018

Bidjari, A. F. (2011). Attitude and Social Representation. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, *30*, 1593-1597. https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2011.10.309

Billieux, J. (2012). Impulsivité et psychopathologie : Une approche transdiagnostique. *Revue Francophone de Clinique Comportementale et Cognitive*, *17*, 42.

Bilman, E., Kleef, E. van, & Trijp, H. van. (2017). External cues challenging the internal appetite control system—Overview and practical implications. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, *57*(13), 2825-2834. https://doi.org/10.1080/10408398.2015.1073140

Blake, C. E., Bisogni, C. A., Sobal, J., Devine, C. M., & Jastran, M. (2007). Classifying foods in contexts : How adults categorize foods for different eating settings. *Appetite*, *49*(2), 500-510. https://doi.org/10.1016/j.appet.2007.03.009

Blechert, J., Meule, A., Busch, N. A., & Ohla, K. (2014). Food-pics : An image database for experimental research on eating and appetite. *Frontiers in Psychology*, *5*. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2014.00617

Blüher, M. (2020). Metabolically Healthy Obesity. *Endocrine Reviews*, *41*(3), 405-420. https://doi.org/10.1210/endrev/bnaa004

Blundell, J. E., Stubbs, R. J., Golding, C., Croden, F., Alam, R., Whybrow, S., Le Noury, J., & Lawton, C. L. (2005). Resistance and susceptibility to weight gain : Individual

variability in response to a high-fat diet. *Physiology & Behavior*, *86*(5), 614-622. https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2005.08.052

Bocquier, A., Verger, P., Basdevant, A., Andreotti, G., Baretge, J., Villani, P., & Paraponaris, A. (2005). Overweight and Obesity : Knowledge, Attitudes, and Practices of General Practitioners in France. *Obesity Research*, *13*(4), 787-795. https://doi.org/10.1038/oby.2005.89

Boeka, A. G., & Lokken, K. L. (2008). Neuropsychological performance of a clinical sample of extremely obese individuals. *Archives of Clinical Neuropsychology*, *23*(4), 467-474. https://doi.org/10.1016/j.acn.2008.03.003

Bongers, P., Jansen, A., Havermans, R., Roefs, A., & Nederkoorn, C. (2013). Happy eating. The underestimated role of overeating in a positive mood. *Appetite*, *67*, 74-80. https://doi.org/10.1016/j.appet.2013.03.017

Bouvard, M., Aulard-Jaccod, J., Pessonneaux, S., Hautekeete, M., & Rogé, B. (2010). Étude du questionnaire de personnalité d'Eysenck révisé et abrégé (EPQR-A) dans une population d'étudiants. *L'Encéphale*, *36*(6), 510-512. https://doi.org/10.1016/j.encep.2010.02.006

Brown, T. A. (2015). *Confirmatory factor analysis for applied research, 2nd ed* (p. xvii, 462). The Guilford Press.

Brownson, R. C., Boehmer, T. K., & Luke, D. A. (2004). DECLINING RATES OF PHYSICAL ACTIVITY IN THE UNITED STATES : What Are the Contributors? *Annual Review of Public Health*, *26*(1), 421-443. https://doi.org/10.1146/annurev.publhealth.26.021304.144437

Bruce, L. J., & Ricciardelli, L. A. (2016). A systematic review of the psychosocial correlates of intuitive eating among adult women. *Appetite*, *96*, 454-472. https://doi.org/10.1016/j.appet.2015.10.012

Brunault, P., Rabemampianina, I., Apfeldorfer, G., Ballon, N., Couet, C., Réveillère, C., Gaillard, P., & El-Hage, W. (2015). The Dutch Eating Behavior Questionnaire : Further psychometric validation and clinical implications of the French version in normal weight and obese persons. *La Presse Medicale*, *44*(12), e363-372. https://doi.org/10.1016/j.lpm.2015.03.028

Bruner, J. S., & Postman, L. (1949). Perception, Cognition, and Behavior. *Journal of Personality*, *18*(1), 14-31. https://doi.org/10.1111/j.1467-6494.1949.tb01229.x

Bulik, C. M., Wade, T. D., Heath, A. C., Martin, N. G., Stunkard, A. J., & Eaves, L. J. (2001). Relating body mass index to figural stimuli : Population-based normative data for

Caucasians. *International Journal of Obesity*, *25*(10), 1517-1524. https://doi.org/10.1038/sj.ijo.0801742

Byrd-Bredbenner, C., Quick, V., Koenings, M., Martin-Biggers, J., & Kattelmann, K. K. (2016). Relationships of cognitive load on eating and weight-related behaviors of young adults. *Eating Behaviors*, *21*, 89-94. https://doi.org/10.1016/j.eatbeh.2016.01.002

Callahan, S., Rousseau, A., Knotter, A., Bru, V., Daniel, M., CUETO, C., LEVASSEUR, M., CUVELLIEZ, F., PIGNOL, L., O'HALLORAN, M. S., CHABROL, H., & Centre d'Etudes et de Recherches en Psychopathologie. Université de Toulouse Ii. Le Mirail. Toulouse. FRA. (2003). Les troubles alimentaires : Présentation d'un outil de diagnostic et résultats d'une étude épidémiologique chez les adolescents. *L'ENCEPHALE*, *29*(3), 239-247. Base documentaire BDSP - Banque de données en santé publique.

Calvo, D., Galioto, R., Gunstad, J., & Spitznagel, M. B. (2014). Uncontrolled eating is associated with reduced executive functioning. *Clinical Obesity*, *4*(3), 172-179. https://doi.org/10.1111/cob.12058

Cameron, J., & Doucet, É. (2007). Getting to the bottom of feeding behaviour : Who's on top? *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, *32*(2), 177-189. https://doi.org/10.1139/h06-072

Carmody, T. P., Brunner, R. L., & Jeor, S. T. S. (1995). Dietary helplessness and disinhibition in weight cyclers and maintainers. *International Journal of Eating Disorders*, *18*(3), 247-256. https://doi.org/10.1002/1098-108X(199511)18:3<247::AID-EAT2260180306>3.0.CO;2-W

Carré, P. (2004). Bandura : Une psychologie pour le XXIe siècle ? *Savoirs*, *Hors série*(5), 9-50.

Casazza, K., Fontaine, K. R., Astrup, A., Birch, L. L., Brown, A. W., Bohan Brown, M. M., Durant, N., Dutton, G., Foster, E. M., Heymsfield, S. B., McIver, K., Mehta, T., Menachemi, N., Newby, P. K., Pate, R., Rolls, B. J., Sen, B., Smith, D. L. J., Thomas, D. M., & Allison, D. B. (2013, janvier 30). *Myths, Presumptions, and Facts about Obesity* (world) [Research-article]. Http://Dx.Doi.Org/10.1056/NEJMsa1208051; Massachusetts Medical Society. https://doi.org/10.1056/NEJMsa1208051

Castellanos, E. H., Charboneau, E., Dietrich, M. S., Park, S., Bradley, B. P., Mogg, K., & Cowan, R. L. (2009). Obese adults have visual attention bias for food cue images : Evidence for altered reward system function. *International Journal of Obesity (2005)*, *33*(9), 1063-1073. https://doi.org/10.1038/ijo.2009.138

Cavayas, M., Raffard, S., & Gély-Nargeot, M.-C. (2012). Stigmatisation dans la maladie d'Alzheimer, une revue de la question. *Gériatrie et Psychologie Neuropsychiatrie du Vieillissement*, *10*(3), 297-305. https://doi.org/10.1684/pnv.2012.0356

Cecchini, M., & Warin, L. (2016). Impact of food labelling systems on food choices and eating behaviours : A systematic review and meta-analysis of randomized studies. *Obesity Reviews*, *17*(3), 201-210. https://doi.org/10.1111/obr.12364

Chambaron, S., Chisin, Q., Chabanet, C., Issanchou, S., & Brand, G. (2015). Impact of olfactory and auditory priming on the attraction to foods with high energy density. *Appetite*, *95*, 74-80. https://doi.org/10.1016/j.appet.2015.06.012

Chambers, K. C. (2018). Conditioned taste aversions. *World Journal of Otorhinolaryngology - Head and Neck Surgery*, *4*(1), 92-100. https://doi.org/10.1016/j.wjorl.2018.02.003

Chandon, P., & Wansink, B. (2012). Does food marketing need to make us fat? A review and solutions. *Nutrition Reviews*, *70*(10), 571-593. https://doi.org/10.1111/j.1753-4887.2012.00518.x

Chantal, J., Hercberg, S., & Europe, W. H. O. R. O. for. (2017). Development of a new front-of-pack nutrition label in France : The five-colour Nutri-Score. *Public Health Panorama*, *03*(04), 712-725.

Chen, Z., Holland, R. W., Quandt, J., Dijksterhuis, A., & Veling, H. (2019). When mere action versus inaction leads to robust preference change. *Journal of Personality and Social Psychology*, *117*(4), 721-740. https://doi.org/10.1037/pspa0000158

Cherry, E. C. (1953). Some Experiments on the Recognition of Speech, with One and with Two Ears. *The Journal of the Acoustical Society of America*, *25*(5), 975-979. https://doi.org/10.1121/1.1907229

Chun, M. M., Golomb, J. D., & Turk-Browne, N. B. (2011). A taxonomy of external and internal attention. *Annual Review of Psychology*, *62*, 73-101. https://doi.org/10.1146/annurev.psych.093008.100427

Claes, L., Vandereycken, W., & Vertommen, H. (2005). Impulsivity-related traits in eating disorder patients. *Personality and Individual Differences*, *39*(4), 739-749. https://doi.org/10.1016/j.paid.2005.02.022

Coelho, J. S., Polivy, J., Peter Herman, C., & Pliner, P. (2009). Wake up and smell the cookies. Effects of olfactory food-cue exposure in restrained and unrestrained eaters. *Appetite*, *52*(2), 517-520. https://doi.org/10.1016/j.appet.2008.10.008

Cohen, D. A. (2008a). Neurophysiological Pathways to Obesity : Below Awareness and Beyond Individual Control. *Diabetes*, *57*(7), 1768-1773. https://doi.org/10.2337/db08-0163

Cohen, D. A. (2008b). Obesity and the built environment : Changes in environmental cues cause energy imbalances. *International Journal of Obesity*, *32*(7), S137-S142. https://doi.org/10.1038/ijo.2008.250

Collaboration, P. S. (2009). Body-mass index and cause-specific mortality in 900 000 adults : Collaborative analyses of 57 prospective studies. *The Lancet*, *373*(9669), 1083-1096. https://doi.org/10.1016/S0140-6736(09)60318-4

Conradt, M., Dierk, J.-M., Schlumberger, P., Rauh, E., Hebebrand, J., & Rief, W. (2008). Who copes well? Obesity-related coping and its associations with shame, guilt, and weight loss. *Journal of Clinical Psychology*, *64*(10), 1129-1144. https://doi.org/10.1002/jclp.20501

Constans, J. I., Penn, D. L., Ihen, G. H., & Hope, D. A. (1999). Interpretive biases for ambiguous stimuli in social anxiety. *Behaviour Research and Therapy*, *37*(7), 643-651. https://doi.org/10.1016/S0005-7967(98)00180-6

Cornelsen, L., Green, R., Dangour, A., & Smith, R. (2015). Why fat taxes won't make us thin. *Journal of Public Health*, *37*(1), 18-23. https://doi.org/10.1093/pubmed/fdu032

Corr, P. J. (2002). J. A. Gray's reinforcement sensitivity theory : Tests of the joint subsystems hypothesis of anxiety and impulsivity. *Personality and Individual Differences*, *33*(4), 511-532. https://doi.org/10.1016/S0191-8869(01)00170-2

Corr, P. J. (2008). Reinforcement Sensitivity Theory (RST) : Introduction. In P. J. Corr (Éd.), *The Reinforcement Sensitivity Theory of Personality* (p. 1-44). Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/CBO9780511819384

Corvalán, C., Reyes, M., Garmendia, M. L., & Uauy, R. (2019). Structural responses to the obesity and non-communicable diseases epidemic : Update on the Chilean law of food labelling and advertising. *Obesity Reviews*, *20*(3), 367-374. https://doi.org/10.1111/obr.12802

Cottraux, J. (2003). *La Répétition des scénarios de vie : Demain est une autre histoire*. Odile Jacob.

Cottraux, J. (2009). Avant-propos. In *TCC et neurosciences* (ELSEVIER-MASSON edition, p. IX-XIV). MASSON.

Cottraux, J. (2011). Des théories de l'apprentissage aux théories cognitives. In *Les psychothérapies comportementales et cognitives* (5e édition). Elsevier Masson.

Cour des comptes. (2019). *La prévention et la prise en charge de l'obésité* (p. 157) [Communication à la Commission des affaires sociales de l'Assemblée nationale]. Cour des comptes. https://www.ccomptes.fr/fr/publications/la-prevention-et-la-prise-en-charge-de-lobesite

Cserjési, R., Luminet, O., Poncelet, A.-S., & Lénárd, L. (2009). Altered executive function in obesity. Exploration of the role of affective states on cognitive abilities. *Appetite*, *52*(2), 535-539. https://doi.org/10.1016/j.appet.2009.01.003

Arrêt du 18 Décembre 2014, C-354/13 ECLI:EU:C:2014:2463 § 53 (2014). http://curia.europa.eu/juris/document/document.jsf;jsessionid=AA4BCAA324173E7E21CEE11CB8E3FE8F?text=&docid=160935&pageIndex=0&doclang=fr&mode=lst&dir=&occ=first&part=1&cid=6564459

Cutler, D. M., & Lleras-Muney, A. (2010). Understanding differences in health behaviors by education. *Journal of Health Economics*, *29*(1), 1-28. https://doi.org/10.1016/j.jhealeco.2009.10.003

Darmon, N. (2008). Le gradient social de l'obésité se creuse en France – Sait-on pourquoi ? *Oléagineux, Corps gras, Lipides*, *15*(1), 46-52. https://doi.org/10.1051/ocl.2008.0161

Dayan, E., & Bar-Hillel, M. (2011). Nudge to nobesity II : Menu positions influence food orders. *Judgment and Decision Making*, *6*(4), 333-342.

Degel, J., Piper, D., & Köster, E. P. (2001). Implicit Learning and Implicit Memory for Odors : The Influence of Odor Identification and Retention Time. *Chemical Senses*, *26*(3), 267-280. https://doi.org/10.1093/chemse/26.3.267

Dehaene, S., Changeux, J.-P., Naccache, L., Sackur, J., & Sergent, C. (2006). Conscious, preconscious, and subliminal processing : A testable taxonomy. *Trends in Cognitive Sciences*, *10*(5), 204-211. https://doi.org/10.1016/j.tics.2006.03.007

Diamond, A. (2013). Executive Functions. *Annual Review of Psychology*, *64*(1), 135-168. https://doi.org/10.1146/annurev-psych-113011-143750

Dias, R., Robbins, T. W., & Roberts, A. C. (1996). Dissociation in prefrontal cortex of affective and attentional shifts. *Nature*, *380*(6569), 69-72. https://doi.org/10.1038/380069a0

Dietrich, A., de Wit, S., & Horstmann, A. (2016). General Habit Propensity Relates to the Sensation Seeking Subdomain of Impulsivity But Not Obesity. *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, *10*. https://doi.org/10.3389/fnbeh.2016.00213

DiMaggio, P. (1997). Culture and Cognition. *Annual Review of Sociology*, *23*(1), 263-287. https://doi.org/10.1146/annurev.soc.23.1.263

Drewnowski, A., Buszkiewicz, J., Aggarwal, A., Rose, C., Gupta, S., & Bradshaw, A. (2020). Obesity and the Built Environment : A Reappraisal. *Obesity*, *28*(1), 22-30. https://doi.org/10.1002/oby.22672

Edwards, J. S. A., Hartwell, H. J., & Brown, L. (2013). The relationship between emotions, food consumption and meal acceptability when eating out of the home. *Food Quality and Preference*, *30*(1), 22-32. https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2013.04.004

Evans, J., & Frankish, K. (2009). The duality of mind : An historical perspective. In J. Evans & K. Frankish (Éds.), *In Two Minds : Dual Processes and Beyond* (p. 11-43). Oxford University Press. http://ukcatalogue.oup.com/product/9780199230167.do

Everitt, B. S., Landau, S., Leese, M., & Stahl, D. (2011). Hierarchical clustering. In *Cluster Analysis* (5th Edition). Wiley-Blackwell.

Everson-Rose, S. A., & Ryan, J. P. (2015). Diabetes, Obesity and the Brain : New Developments in Biobehavioral Medicine. *Psychosomatic medicine*, *77*(6), 612-615. https://doi.org/10.1097/PSY.0000000000000223

Fagerberg, P., Langlet, B., Oravsky, A., Sandborg, J., Löf, M., & Ioakimidis, I. (2019). Ultra-processed food advertisements dominate the food advertising landscape in two Stockholm areas with low vs high socioeconomic status. Is it time for regulatory action? *BMC Public Health*, *19*(1), 1717. https://doi.org/10.1186/s12889-019-8090-5

Fagundo, A. B., Torre, R. de la, Jiménez-Murcia, S., Agüera, Z., Granero, R., Tárrega, S., Botella, C., Baños, R., Fernández-Real, J. M., Rodríguez, R., Forcano, L., Frühbeck, G., Gómez-Ambrosi, J., Tinahones, F. J., Fernández-García, J. C., Casanueva, F. F., & Fernández-Aranda, F. (2012). Executive Functions Profile in Extreme Eating/Weight Conditions : From Anorexia Nervosa to Obesity. *PLOS ONE*, *7*(8), e43382. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0043382

Faruqi, N., Spooner, C., Joshi, C., Lloyd, J., Dennis, S., Stocks, N., Taggart, J., & Harris, M. F. (2015). Primary health care-level interventions targeting health literacy and their effect on weight loss : A systematic review. *BMC Obesity*, *2*(1), 6. https://doi.org/10.1186/s40608-015-0035-7

Fawcett, T. W., Fallenstein, B., Higginson, A. D., Houston, A. I., Mallpress, D. E. W., Trimmer, P. C., & McNamara, J. M. (2014). The evolution of decision rules in complex environments. *Trends in Cognitive Sciences*, *18*(3), 153-161. https://doi.org/10.1016/j.tics.2013.12.012

Ferriday, D., & Brunstrom, J. M. (2011). 'I just can't help myself' : Effects of food-cue exposure in overweight and lean individuals. *International Journal of Obesity*, *35*(1), 142-149. https://doi.org/10.1038/ijo.2010.117

Fischler, C. (1987). Attitudes Towards Sugar and Sweetness in Historical and Social Perspective. In J. Dobbing (Éd.), *Sweetness* (p. 83-98). Springer.

Flint, S. W., Čadek, M., Codreanu, S. C., Ivić, V., Zomer, C., & Gomoiu, A. (2016). Obesity Discrimination in the Recruitment Process : "You're Not Hired!" *Frontiers in Psychology*, *7*. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2016.00647

Foerster, S. B., Kizer, K. W., DiSogra, L. K., Bal, D. G., Krieg, B. F., & Bunch, K. L. (1995). California's "5 a Day—for Better Health!" Campaign : An Innovative Population-Based Effort to Effect Large-Scale Dietary Change. *American Journal of Preventive Medicine*, *11*(2), 124-131. https://doi.org/10.1016/S0749-3797(18)30488-4

Foroni, F., Pergola, G., & Rumiati, R. I. (2016). Food color is in the eye of the beholder : The role of human trichromatic vision in food evaluation. *Scientific Reports*, *6*(1), 37034. https://doi.org/10.1038/srep37034

Forwood, S. E., Ahern, A. L., Hollands, G. J., Ng, Y.-L., & Marteau, T. M. (2015). Priming healthy eating. You can't prime all the people all of the time. *Appetite*, *89*, 93-102. https://doi.org/10.1016/j.appet.2015.01.018

Francis, L. J., Brown, L. B., & Philipchalk, R. (1992). The development of an abbreviated form of the revised Eysenck personality questionnaire (EPQR-A) : Its use among students in England, Canada, the U.S.A. and Australia. *Personality and Individual Differences*, *13*(4), 443-449. https://doi.org/10.1016/0191-8869(92)90073-X

Frankish, K. (2010). Dual-Process and Dual-System Theories of Reasoning. *Philosophy Compass*, *5*(10), 914-926. https://doi.org/10.1111/j.1747-9991.2010.00330.x

Friedman, K. E., Reichmann, S. K., Costanzo, P. R., Zelli, A., Ashmore, J. A., & Musante, G. J. (2005). Weight Stigmatization and Ideological Beliefs : Relation to Psychological Functioning in Obese Adults. *Obesity Research*, *13*(5), 907-916. https://doi.org/10.1038/oby.2005.105

Friedman, M. A., & Brownell, K. D. (2002). Psychological Consequences of Obesity. In C. G. Fairburn & K. D. Brownell (Éds.), *Eating Disorders and Obesity : A Comprehensive Handbook* (p. 393-397). Guilford Press.

Friedman, N. P., & Miyake, A. (2017). Unity and Diversity of Executive Functions : Individual Differences as a Window on Cognitive Structure. *Cortex; a journal devoted to the study of the nervous system and behavior*, *86*, 186-204. https://doi.org/10.1016/j.cortex.2016.04.023

Friese, M., Hofmann, W., & Wänke, M. (2008). When impulses take over : Moderated predictive validity of explicit and implicit attitude measures in predicting food choice and consumption behaviour. *British Journal of Social Psychology*, *47*(3), 397-419. https://doi.org/10.1348/014466607X241540

Friis, R., Skov, L. R., Olsen, A., Appleton, K. M., Saulais, L., Dinnella, C., Hartwell, H., Depezay, L., Monteleone, E., Giboreau, A., & Perez-Cueto, F. J. A. (2017). Comparison of three nudge interventions (priming, default option, and perceived variety) to promote vegetable consumption in a self-service buffet setting. *PLOS ONE*, *12*(5), e0176028. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0176028

Froehlich-Grobe, K., & Lollar, D. (2011). Obesity and Disability : Time to Act. *American Journal of Preventive Medicine*, *41*(5), 541-545. https://doi.org/10.1016/j.amepre.2011.07.015

Gaillet, M., Sulmont-Rossé, C., Issanchou, S., Chabanet, C., & Chambaron, S. (2013). Priming effects of an olfactory food cue on subsequent food-related behaviour. *Food Quality and Preference*, *30*(2), 274-281. https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2013.06.008

Gaillet-Torrent, M. (2013). *Quels apports des méthodologies issues de la psychologie cognitive pour comprendre le comportement alimentaire ? : Impact d'un amorçage olfactif* [These de doctorat, Dijon]. http://www.theses.fr/2013DIJOS051

Gaillet-Torrent, M., Sulmont-Rossé, C., Issanchou, S., Chabanet, C., & Chambaron, S. (2014). Impact of a non-attentively perceived odour on subsequent food choices. *Appetite*, *76*, 17-22. https://doi.org/10.1016/j.appet.2014.01.009

Gargiulo, M., & Rosenblum, O. (2015). Avant-propos. *Champ psy, N° 68*(2), 5-10.

Glauser, T. A., Roepke, N., Stevenin, B., Dubois, A. M., & Ahn, S. M. (2015). Physician knowledge about and perceptions of obesity management. *Obesity Research & Clinical Practice*, *9*(6), 573-583. https://doi.org/10.1016/j.orcp.2015.02.011

Godoy-Izquierdo, D., González-Hernández, J., Rodríguez-Tadeo, A., Lara, R., Ogallar, A., Navarrón, E., Ramírez, M. J., López-Mora, C., & Arbinaga, F. (2020). Body Satisfaction, Weight Stigma, Positivity, and Happiness among Spanish Adults with Overweight and Obesity. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *17*(12), 4186. https://doi.org/10.3390/ijerph17124186

Goldstein, R. Z., & Volkow, N. D. (2002). Drug Addiction and Its Underlying Neurobiological Basis : Neuroimaging Evidence for the Involvement of the Frontal Cortex. *The American journal of psychiatry*, *159*(10), 1642-1652.

Goldstein, R. Z., & Volkow, N. D. (2011). Dysfunction of the prefrontal cortex in addiction : Neuroimaging findings and clinical implications. *Nature reviews. Neuroscience*, *12*(11), 652-669. https://doi.org/10.1038/nrn3119

Gomez, P., Ratcliff, R., & Perea, M. (2007). A Model of the Go/No-Go Task. *Journal of experimental psychology. General*, *136*(3), 389-413. https://doi.org/10.1037/0096-3445.136.3.389

Gortmaker, S. L., Must, A., Perrin, J. M., Sobol, A. M., & Dietz, W. H. (1993). Social and Economic Consequences of Overweight in Adolescence and Young Adulthood. *New England Journal of Medicine*, *329*(14), 1008-1012. https://doi.org/10.1056/NEJM199309303291406

Gracia Arnaiz, M. (2001). Nutritional Discourse in Food Advertising : Between Persuasion and Cacophony. *Anthropology of Food, Issue 0,* Article Issue 0. https://doi.org/10.4000/aof.989

Greenfield, H., Maples, J., & Wills, R. B. H. (1983). Salting of food—A function of hole size and location of shakers. *Nature*, *301*(5898), 331-332. https://doi.org/10.1038/301331a0

Gronchi, G., & Giovannelli, F. (2018). Dual Process Theory of Thought and Default Mode Network : A Possible Neural Foundation of Fast Thinking. *Frontiers in Psychology*, *9*. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.01237

Groupe de réflexion sur l'evaluation des fonctions exécutives (GREFEX). (2001). L'évaluation des fonctions exécutives en pratique clinique. [The evaluation of executive functions in clinical practice.]. *Revue de Neuropsychologie*, *11*(3), 383-433.

Groupe d'Etude des Marchés de Restauration Collective et Nutrition (GEM-RCN), Direction des Affaires Juridiques, & Ministère de l'économie, de l'industrie et du numérique. (2015). *Recommandation Nutrition* (2.0). https://www.economie.gouv.fr/files/files/directions_services/daj/marches_publics/oeap/gem/nutrition/nutrition.pdf

Guerrieri, R., Nederkoorn, C., Schrooten, M., Martijn, C., & Jansen, A. (2009). Inducing impulsivity leads high and low restrained eaters into overeating, whereas current dieters stick to their diet. *Appetite*, *53*(1), 93-100. https://doi.org/10.1016/j.appet.2009.05.013

Guy-Grand, B. (2008). L'obésité : D'une adaptation sociétale à une maladie organique du tissu adipeux. *Oléagineux, Corps gras, Lipides*, *15*(1), 13-16. https://doi.org/10.1051/ocl.2008.0169

Hancocks, S. (2018). Sugar; tax and reformulation. *British Dental Journal*, *225*(10), 905-905. https://doi.org/10.1038/sj.bdj.2018.1041

Haute Autorité de Santé. (2006, août 31). *Haute Autorité de Santé—Prévention*. https://www.has-sante.fr/jcms/c_410178/fr/prevention

Haute Autorité de Santé. (2009). *Obésite—Prise en charge chirurgicale chez l'adulte—Recommandations* (p. 26) [Recommandations de bonne pratique]. https://www.has-sante.fr/upload/docs/application/pdf/2011-12/recommandation_obesite_-_prise_en_charge_chirurgicale_chez_ladulte.pdf

Haute Autorité de Santé. (2011a). *Surpoids et obésité de l'adulte : Prise en charge médicale de premier recours Recommandations pour la pratique clinique—Argumentaire* [Recommandations pour la pratique clinique]. Haute Autorité de Santé. https://www.has-sante.fr/upload/docs/application/pdf/2011-09/2011_09_30_obesite_adulte_argumentaire.pdf

Haute Autorité de Santé. (2011b). *Surpoids et obésité de l'adulte : Prise en charge médicale de premier recours; Recommandations pour la pratique clinique—Recommandations* [Recommandations pour la pratique clinique]. https://www.has-sante.fr/upload/docs/application/pdf/2011-12/recommandation_obesite_adulte.pdf

Hebert, J. R., Hurley, T. G., Peterson, K. E., Resnicow, K., Thompson, F. E., Yaroch, A. L., Ehlers, M., Midthune, D., Williams, G. C., Greene, G. W., & Nebeling, L. (2008). Social Desirability Trait Influences on Self-Reported Dietary Measures among Diverse Participants in a Multicenter Multiple Risk Factor Trial. *The Journal of Nutrition*, *138*(1), 226S-234S. https://doi.org/10.1093/jn/138.1.226S

Heimendinger, J., Duyn, M. A. V., Chapelsky, D., Foerster, S., & Stables, G. (1996). The National 5 A Day for Better Health Program : A Large-Scale Nutrition Intervention. *Journal of Public Health Management and Practice*, *2*(2), 27–35.

Heise, E., & Westermann, R. (1989). Anderson's Theory of Cognitive Architecture (ACT*). In H. Westmeyer (Éd.), *Psychological Theories from a Structuralist Point of View* (p. 103-127). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-84015-9_5

Hercberg, S., Chat-Yung, S., & Chauliac, M. (2008). The French National Nutrition and Health Program : 2001–2006–2010. *International Journal of Public Health*, *53*(2), 68-77. https://doi.org/10.1007/s00038-008-7016-2

Herman, P., & Polivy, J. (2002). Experimental Studies of Dieting. In C. G. Fairburn & K. D. Brownell (Éds.), *Eating Disorders and Obesity : A Comprehensive Handbook* (p. 84-88). Guilford Press.

Herz, N., Baror, S., & Bar, M. (2020). Overarching States of Mind. *Trends in Cognitive Sciences*, *24*(3), 184-199. https://doi.org/10.1016/j.tics.2019.12.015

Herz, R. S. (2009). Aromatherapy facts and fictions : A scientific analysis of olfactory effects on mood, physiology and behavior. *The International Journal of Neuroscience*, *119*(2), 263-290. https://doi.org/10.1080/00207450802333953

Hess, T. M., Hinson, J. T., & Statham, J. A. (2004). Explicit and implicit stereotype activation effects on memory : Do age and awareness moderate the impact of priming? *Psychology and Aging*, *19*(3), 495-505. https://doi.org/10.1037/0882-7974.19.3.495

Heuer, C. A., McClure, K. J., & Puhl, R. M. (2011). Obesity Stigma in Online News : A Visual Content Analysis. *Journal of Health Communication*, *16*(9), 976-987. https://doi.org/10.1080/10810730.2011.561915

Higginson, A. D., McNamara, J. M., & Houston, A. I. (2016). Fatness and fitness : Exposing the logic of evolutionary explanations for obesity. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, *283*(1822), 20152443. https://doi.org/10.1098/rspb.2015.2443

Hill, J. O., Peters, J. C., Catenacci, V. A., & Wyatt, H. R. (s. d.). International strategies to address obesity. *Obesity Reviews*, *9*(s1), 41-47. https://doi.org/10.1111/j.1467-789X.2007.00437.x

Hochberg, J. (1956). Perception : Toward the recovery of a definition. *Psychological Review*, *63*(6), 400-405. https://doi.org/10.1037/h0046193

Hofmann, W., Friese, M., & Strack, F. (2009). Impulse and Self-Control From a Dual-Systems Perspective: *Perspectives on Psychological Science*. https://journals.sagepub.com/doi/10.1111/j.1745-6924.2009.01116.x

Hofmann, W., Rauch, W., & Gawronski, B. (2007). And deplete us not into temptation : Automatic attitudes, dietary restraint, and self-regulatory resources as determinants of eating behavior. *Journal of Experimental Social Psychology*, *43*(3), 497-504. https://doi.org/10.1016/j.jesp.2006.05.004

Holland, R. W., Hendriks, M., & Aarts, H. (2005). Smells like clean spirit. Nonconscious effects of scent on cognition and behavior. *Psychological Science*, *16*(9), 689-693. https://doi.org/10.1111/j.1467-9280.2005.01597.x

Horstmann, A., Dietrich, A., Mathar, D., Pössel, M., Villringer, A., & Neumann, J. (2015). Slave to habit? Obesity is associated with decreased behavioural sensitivity to reward devaluation. *Appetite*, *87*, 175-183. https://doi.org/10.1016/j.appet.2014.12.212

Hou, R., Mogg, K., Bradley, B. P., Moss-Morris, R., Peveler, R., & Roefs, A. (2011). External eating, impulsivity and attentional bias to food cues. *Appetite*, *56*(2), 424-427. https://doi.org/10.1016/j.appet.2011.01.019

Houben, K., Nederkoorn, C., & Jansen, A. (2014). Eating on impulse : The relation between overweight and food-specific inhibitory control. *Obesity*, *22*(5), E6-E8. https://doi.org/10.1002/oby.20670

Hume, D. J., Howells, F. M., Rauch, H. L., Krof, J., & Lambert, E. V. (2016). Healthy Restrained Eaters Diminish Consummatory Food Reward and Inhibit Prepotent Feeding Responses : An EEG Study. *Mental Health in Family Medicine*, *12*(02). https://www.academia.edu/28184473/Healthy_restrained_eaters_diminish_consummatory_food_reward_and_inhibit_prepotent_feeding_responses_an_EEG_study

Inspection générale des affaires sociales. (2016). *Évaluation du programme national nutrition santé 2011-2015 et 2016 (PNNS 3) et du plan obésité 2010-2013* (N° 2016-020R; p. 155). Inspection générale des affaires sociales. http://www.igas.gouv.fr/IMG/pdf/2016-020R.pdf

Institut National de Prévention et d'Education pour la Santé (INPES), & Ministère de la santé de la jeunesse et des sports. (2008). *Post-test des messages sanitaires apposés sur les*

publicités alimentaires auprès des 8 ans et plus (p. 24). https://solidarites-sante.gouv.fr/IMG/pdf/POST-TEST_des_messages_sanitaires_apposes_sur_les_publicites_alimentaires_aupres_des_8_ans_et_plus.pdf

Jaacks, L. M. (2019). Taxes on saturated fat, salt, and sugar improve the healthiness of grocery purchases, but changes are frustratingly small. *The Lancet Public Health*, *4*(8), e363-e364. https://doi.org/10.1016/S2468-2667(19)30110-0

Jackson, D. L., Gillaspy, J. A., & Purc-Stephenson, R. (2009). Reporting practices in confirmatory factor analysis : An overview and some recommendations. *Psychological Methods*, *14*(1), 6-23. https://doi.org/10.1037/a0014694

Jacquier, C., Bonthoux, F., Baciu, M., & Ruffieux, B. (2012). Improving the effectiveness of nutritional information policies : Assessment of unconscious pleasure mechanisms involved in food-choice decisions. *Nutrition Reviews*, *70*(2), 118-131. https://doi.org/10.1111/j.1753-4887.2011.00447.x

Jáuregui-Lobera, I., & Montes-Martínez, M. (2020). Emotional Eating and Obesity. *Psychosomatic Medicine*. https://doi.org/10.5772/intechopen.91734

Johnson, A. J. (2011). Cognitive Facilitation Following Intentional Odor Exposure. *Sensors (Basel, Switzerland)*, *11*(5), 5469-5488. https://doi.org/10.3390/s110505469

Johnson, F., Pratt, M., & Wardle, J. (2012). Dietary restraint and self-regulation in eating behavior. *International Journal of Obesity*, *36*(5), 665-674. https://doi.org/10.1038/ijo.2011.156

Joyner, M. A., Kim, S., & Gearhardt, A. N. (2017). Investigating an Incentive-Sensitization Model of Eating Behavior : Impact of a Simulated Fast-Food Laboratory. *Clinical Psychological Science*, *5*(6), 1014-1026. https://doi.org/10.1177/2167702617718828

Julia, C., Charpak, Y., Rusch, E., Lecomte, F., Lombrail, P., & Hercberg, S. (2018). Promoting public health in nutrition : Nutri-Score and the tug of war between public health and the food industry. *European Journal of Public Health*, *28*(3), 396-397. https://doi.org/10.1093/eurpub/cky037

Kakoschke, N., Kemps, E., & Tiggemann, M. (2015). Combined effects of cognitive bias for food cues and poor inhibitory control on unhealthy food intake. *Appetite*, *87*, 358-364. https://doi.org/10.1016/j.appet.2015.01.004

Karpinski, A., & Hilton, J. L. (2011). Attitudes and the Implicit Association Test. *Journal of Personality and Social Psychology*, *81*(5), 774–788. http://dx.doi.org/10.1037/0022-3514.81.5.774

Kemps, E., Tiggemann, M., & Grigg, M. (2008). Food cravings consume limited cognitive resources. *Journal of Experimental Psychology. Applied*, *14*(3), 247-254. https://doi.org/10.1037/a0012736

Kemps, E., Tiggemann, M., & Hollitt, S. (2016). Longevity of attentional bias modification effects for food cues in overweight and obese individuals. *Psychology & Health*, *31*(1), 115-129. https://doi.org/10.1080/08870446.2015.1077251

Kim, T. J., & Knesebeck, O. von dem. (2018). Income and obesity : What is the direction of the relationship? A systematic review and meta-analysis. *BMJ Open*, *8*(1), e019862. https://doi.org/10.1136/bmjopen-2017-019862

Komaroff, M. (2016). *For Researchers on Obesity : Historical Review of Extra Body Weight Definitions* [Research article]. Journal of Obesity. https://doi.org/10.1155/2016/2460285

Kong, F., Zhang, Y., & Chen, H. (2015). Inhibition Ability of Food Cues between Successful and Unsuccessful Restrained Eaters : A Two-Choice Oddball Task. *PLOS ONE*, *10*(4), e0120522. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0120522

Köster, E. P. (2002). The Specific Characteristics of the Sense of Smell. In C. Rouby, B. Schaal, D. Dubois, R. Gervais, & A. Holley (Éds.), *Olfaction, Taste, and Cognition* (1 edition). Cambridge University Press.

Kristen, E. (2002). Addressing the Problem of Weight Discrimination in Employment. *California Law Review*, *90*(1), 57-109. JSTOR. https://doi.org/10.2307/3481306

Krysta, K., Bratek, A., Zawada, K., & Stepańczak, R. (2017). Cognitive deficits in adults with obstructive sleep apnea compared to children and adolescents. *Journal of Neural Transmission*, *124*(1), 187-201. https://doi.org/10.1007/s00702-015-1501-6

Kure Liu, C., Joseph, P. V., Feldman, D. E., Kroll, D. S., Burns, J. A., Manza, P., Volkow, N. D., & Wang, G.-J. (2019). Brain Imaging of Taste Perception in Obesity : A Review. *Current Nutrition Reports*, *8*(2), 108-119. https://doi.org/10.1007/s13668-019-0269-y

Kushner, R. F., & Sorensen, K. W. (2015). Prevention of Weight Regain Following Bariatric Surgery. *Current Obesity Reports*, *4*(2), 198-206. https://doi.org/10.1007/s13679-015-0146-y

Lakdawalla, D., & Philipson, T. (2007). Labor Supply and Weight. *Journal of Human Resources*, *XLII*(1), 85-116. https://doi.org/10.3368/jhr.XLII.1.85

Lake, A., & Townshend, T. (2006). Obesogenic environments : Exploring the built and food environments: *The Journal of the Royal Society for the Promotion of Health*. https://doi.org/10.1177/1466424006070487

Lampuré, A., Castetbon, K., Deglaire, A., Schlich, P., Péneau, S., Hercberg, S., & Méjean, C. (2016). Associations 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*, *13*(1), 74. https://doi.org/10.1186/s12966-016-0406-6

Lang, A., Shin, M., & Lee, S. (2005). Sensation Seeking, Motivation, and Substance Use : A Dual System Approach. *Media Psychology*, *7*(1), 1-29. https://doi.org/10.1207/S1532785XMEP0701_1

Larkin, D., & Martin, C. R. (2017). Chapter 64—Does Body Dysmorphic Disorder Have Implications for Bariatric Surgery? In R. Rajendram, C. R. Martin, & V. R. Preedy (Éds.), *Metabolism and Pathophysiology of Bariatric Surgery* (p. 605-611). Academic Press. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-804011-9.00062-5

Larsen, J. K., Hermans, R. C. J., & Engels, R. C. M. E. (2012). Food intake in response to food-cue exposure. Examining the influence of duration of the cue exposure and trait impulsivity. *Appetite*, *58*(3), 907-913. https://doi.org/10.1016/j.appet.2012.02.004

Lattimore, P., & Maxwell, L. (2004). Cognitive load, stress, and disinhibited eating. *Eating Behaviors*, *5*(4), 315-324. https://doi.org/10.1016/j.eatbeh.2004.04.009

Lavrakas, P. (2008). *Encyclopedia of Survey Research Methods*. Sage Publications, Inc. https://doi.org/10.4135/9781412963947

Liu, J., Bai, Y., Kang, J., & An, N. (2006). A New Approach to Hierarchical Clustering Using Partial Least Squares. *2006 International Conference on Machine Learning and Cybernetics*, 1125-1131. https://doi.org/10.1109/ICMLC.2006.258591

Loeber, S., Grosshans, M., Korucuoglu, O., Vollmert, C., Vollstädt-Klein, S., Schneider, S., Wiers, R. W., Mann, K., & Kiefer, F. (2012). Impairment of inhibitory control in response to food-associated cues and attentional bias of obese participants and normal-weight controls. *International Journal of Obesity*, *36*(10), 1334-1339. https://doi.org/10.1038/ijo.2011.184

Lowe, M. (2005). Dietary Restraint and Overeating. In C. G. Fairburn (Éd.), *Eating Disorders and Obesity, Second Edition : A Comprehensive Handbook* (Second edition). The Guilford Press.

Ludbrook, A. (2019). Fiscal measures to promote healthier choices : An economic perspective on price-based interventions. *Public Health*, *169*, 180-187. https://doi.org/10.1016/j.puhe.2019.02.008

Lyman, B. (1989). Food Meanings. In *A Psychology of Food : More Than a Matter of Taste*. Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-011-7033-8

Lynch, J. W., Kaplan, G. A., & Salonen, J. T. (1997). Why do poor people behave poorly? Variation in adult health behaviours and psychosocial characteristics by stages of the socioeconomic lifecourse. *Social Science & Medicine (1982)*, *44*(6), 809-819. https://doi.org/10.1016/s0277-9536(96)00191-8

Machaux-Tholliez, D. (2011). Déterminants psychologiques. In A. Basdevant (Éd.), *Médecine et chirurgie de l'obésité*. Lavoisier.

MacLeod, C., Mathews, A., & Tata, P. (1986). Attentional bias in emotional disorders. *Journal of Abnormal Psychology*, *95*(1), 15-20. https://doi.org/10.1037/0021-843X.95.1.15

Major, B., Hunger, J. M., Bunyan, D. P., & Miller, C. T. (2014). The ironic effects of weight stigma. *Journal of Experimental Social Psychology*, *51*, 74-80. https://doi.org/10.1016/j.jesp.2013.11.009

Manohar, S. G., & Husain, M. (2013). Attention as foraging for information and value. *Frontiers in Human Neuroscience*, *7*. https://doi.org/10.3389/fnhum.2013.00711

Maragkoudias, P. (2017, juin 20). *Food and non-alcoholic beverage marketing to children and adolescents* [Text]. EU Science Hub - European Commission. https://ec.europa.eu/jrc/en/health-knowledge-gateway/promotion-prevention/other-policies/marketing

Markey, C. N., August, K. J., Bailey, L. C., Markey, P. M., & Nave, C. S. (2016). The pivotal role of psychology in a comprehensive theory of obesity. *Health psychology open*, *3*(1). https://doi.org/10.1177/2055102916634365

Marteau, T. M., Hollands, G. J., & Fletcher, P. C. (2012). Changing Human Behavior to Prevent Disease : The Importance of Targeting Automatic Processes. *Science*, *337*(6101), 1492-1495. https://doi.org/10.1126/science.1226918

Martin, P. (2008). *L'évaluation clinique standardisée en psychiatrie, 1 : Psychopathologie générale, dépression, anxiété et anxio-dépression* (G. Julien-Daniel, Éd.). Laboratoires Pierre Fabre. http://ecsp.fr

Marty, L., Bentivegna, H., Nicklaus, S., Monnery-Patris, S., & Chambaron, S. (2017). Non-Conscious Effect of Food Odors on Children's Food Choices Varies by Weight Status. *Frontiers in Nutrition*, *4*, 16. https://doi.org/10.3389/fnut.2017.00016

Marty, L., Chambaron, S., Nicklaus, S., & Monnery-Patris, S. (2018). Learned pleasure from eating : An opportunity to promote healthy eating in children? *Appetite*, *120*, 265-274. https://doi.org/10.1016/j.appet.2017.09.006

Mas, M., Brindisi, M.-C., Chabanet, C., & Chambaron, S. (2020). Implicit food odour priming effects on reactivity and inhibitory control towards foods. *PLOS ONE*, *15*(6), e0228830. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0228830

Mas, M., Brindisi, M.-C., Chabanet, C., Nicklaus, S., & Chambaron, S. (2019). Weight Status and Attentional Biases Toward Foods : Impact of Implicit Olfactory Priming. *Frontiers in Psychology*, *10*. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.01789

Matta, J., Zins, M., Feral-Pierssens, A., Carette, C., Ozguler, A., & Goldberg, M. (2016). *Prévalence du surpoids, de l'obésité et des facteurs de risque cardio-métaboliques dans la cohorte Constances. 640*(6), 35-36.

McCambridge, J., Witton, J., & Elbourne, D. R. (2014). Systematic review of the Hawthorne effect : New concepts are needed to study research participation effects. *Journal of Clinical Epidemiology*, *67*(3), 267-277. https://doi.org/10.1016/j.jclinepi.2013.08.015

McCuen-Wurst, C., Ruggieri, M., & Allison, K. C. (2018). Disordered eating and obesity : Associations between binge eating-disorder, night-eating syndrome, and weight-related co-morbidities. *Annals of the New York Academy of Sciences*, *1411*(1), 96-105. https://doi.org/10.1111/nyas.13467

McLoone, P., & Morrison, D. S. (2014). Risk of child obesity from parental obesity : Analysis of repeat national cross-sectional surveys. *European Journal of Public Health*, *24*(2), 186-190. https://doi.org/10.1093/eurpub/cks175

Meiselman, H. L. (Éd.). (2019). *Context : The Effects of Environment on Product Design and Evaluation* (1 edition). Woodhead Publishing.

Melnikoff, D. E., & Bargh, J. A. (2018). The Mythical Number Two. *Trends in Cognitive Sciences*, *22*(4), 280-293. https://doi.org/10.1016/j.tics.2018.02.001

Meule, A. (2017). Reporting and Interpreting Task Performance in Go/No-Go Affective Shifting Tasks. *Frontiers in Psychology*, *8*. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.00701

Meule, A., & Kübler, A. (2014). Double trouble. Trait food craving and impulsivity interactively predict food-cue affected behavioral inhibition. *Appetite*, *79*, 174-182. https://doi.org/10.1016/j.appet.2014.04.014

Meule, A., Lukito, S., Vögele, C., & Kübler, A. (2011). Enhanced behavioral inhibition in restrained eaters. *Eating Behaviors*, *12*(2), 152-155. https://doi.org/10.1016/j.eatbeh.2011.01.006

Meule, A., Lutz, A. P. C., Krawietz, V., Stützer, J., Vögele, C., & Kübler, A. (2014). Food-cue affected motor response inhibition and self-reported dieting success : A pictorial affective shifting task. *Frontiers in Psychology*, *5*. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2014.00216

Meule, A., Lutz, A., Vögele, C., & Kübler, A. (2012). Women with elevated food addiction symptoms show accelerated reactions, but no impaired inhibitory control, in response

to pictures of high-calorie food-cues. *Eating Behaviors*, *13*(4), 423-428. https://doi.org/10.1016/j.eatbeh.2012.08.001

Michou, M., Panagiotakos, D. B., & Costarelli, V. (2018). Low health literacy and excess body weight : A systematic review. *Central European Journal of Public Health*, *26*(3), 234-241. https://doi.org/10.21101/cejph.a5172

Miller, E. K., & Cohen, J. D. (2001). An Integrative Theory of Prefrontal Cortex Function. *Annual Review of Neuroscience*, *24*(1), 167-202. https://doi.org/10.1146/annurev.neuro.24.1.167

Millot, J.-L., Laurent, L., & Casini, L. (2016). The Influence of Odors on Time Perception. *Frontiers in Psychology*, *7*. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2016.00181

Ministère des solidarités et de la santé. (2020). *Lancement du 4ème Programme national nutrition santé 2019-2023*. Minsitère des solidarités et de la santé. https://solidarites-sante.gouv.fr/actualites/presse/communiques-de-presse/article/lancement-du-4eme-programme-national-nutrition-sante-2019-2023

Mintz, L. B., O'Halloran, M. S., Mulholland, A. M., & Schneider, P. A. (1997). Questionnaire for Eating Disorder Diagnoses : Reliability and validity of operationalizing DSM—IV criteria into a self-report format. *Journal of Counseling Psychology*, *44*(1), 63-79. https://doi.org/10.1037/0022-0167.44.1.63

Mirowsky, J., & Ross, C. E. (2003). Education, Personal Control, Lifestyle, and Health. In *Education, Social Status, and Health* (p. 50-60). Transaction Publishers.

Miyake, A., Friedman, N. P., Emerson, M. J., Witzki, A. H., Howerter, A., & Wager, T. D. (2000). The Unity and Diversity of Executive Functions and Their Contributions to Complex "Frontal Lobe" Tasks : A Latent Variable Analysis. *Cognitive Psychology*, *41*(1), 49-100. https://doi.org/10.1006/cogp.1999.0734

Mobbs, O., Crépin, C., Thiéry, C., Golay, A., & Van der Linden, M. (2010). Obesity and the four facets of impulsivity. *Patient Education and Counseling*, *79*(3), 372-377. https://doi.org/10.1016/j.pec.2010.03.003

Mobbs, O., Iglesias, K., Golay, A., & Van der Linden, M. (2011). Cognitive deficits in obese persons with and without binge eating disorder. Investigation using a mental flexibility task. *Appetite*, *57*(1), 263-271. https://doi.org/10.1016/j.appet.2011.04.023

Mogg, K., Bradley, B. P., Hyare, H., & Lee, S. (1998). Selective attention to food-related stimuli in hunger : Are attentional biases specific to emotional and psychopathological states, or are they also found in normal drive states? *Behaviour Research and Therapy*, *36*(2), 227-237.

Moller, A. R. (2002). Psychophysics. In *Sensory Systems : Anatomy, Physiology and Pathophysiology* (1 edition). Academic Press.

Moore, C. F., Sabino, V., Koob, G. F., & Cottone, P. (2017). Pathological Overeating : Emerging Evidence for a Compulsivity Construct. *Neuropsychopharmacology*, *42*(7), 1375-1389. https://doi.org/10.1038/npp.2016.269

Moraes, N. C., Aprahamian, I., Yassuda, M. S., Moraes, N. C., Aprahamian, I., & Yassuda, M. S. (2019). Executive function in systemic arterial hypertension : A systematic review. *Dementia & Neuropsychologia*, *13*(3), 284-292. https://doi.org/10.1590/1980-57642018dn13-030004

Morris, T. P., White, I. R., & Royston, P. (2014). Tuning multiple imputation by predictive mean matching and local residual draws. *BMC Medical Research Methodology*, *14*(1), 75. https://doi.org/10.1186/1471-2288-14-75

Moscovici, S. (1963). Attitudes and Opinions. *Annual Review of Psychology*, *14*(1), 231-260. https://doi.org/10.1146/annurev.ps.14.020163.001311

Moss, M., Cook, J., Wesnes, K., & Duckett, P. (2003). Aromas of Rosemary and Lavender Essential Oils Differentially Affect Cognition and Mood in Healthy Adults. *International Journal of Neuroscience*, *113*(1), 15-38. https://doi.org/10.1080/00207450390161903

Mozaffarian, D., Angell, S. Y., Lang, T., & Rivera, J. A. (2018). Role of government policy in nutrition—Barriers to and opportunities for healthier eating. *BMJ*, *361*. https://doi.org/10.1136/bmj.k2426

Murphy, F. C., Sahakian, B. J., Rubinsztein, J. S., Michael, A., Rogers, R. D., Robbins, T. W., & Paykel, E. S. (1999). Emotional bias and inhibitory control processes in mania and depression. *Psychological Medicine*, *29*(6), 1307-1321. https://doi.org/10.1017/s0033291799001233

Nagler, R. H. (2014). Adverse outcomes associated with media exposure to contradictory nutrition messages. *Journal of health communication*, *19*(1), 24-40. https://doi.org/10.1080/10810730.2013.798384

Nederkoorn, Guerrieri, R., Havermans, R. C., Roefs, A., & Jansen, A. (2009). The interactive effect of hunger and impulsivity on food intake and purchase in a virtual supermarket. *International Journal of Obesity*, *33*(8), 905-912. https://doi.org/10.1038/ijo.2009.98

Nguyen, S. P., & McCullough, M. B. (2011). *MAKING SENSE OF WHAT Is HEALTHY FOR YOU : CHILDREN'S AND ADULTS' EVALUATIVE CATEGORIES OF FOOD*.

Nijs, I. M. T., & Franken, I. H. A. (2012). Attentional Processing of Food Cues in Overweight and Obese Individuals. *Current Obesity Reports*, *1*(2), 106-113. https://doi.org/10.1007/s13679-012-0011-1

Nijs, I. M. T., Muris, P., Euser, A. S., & Franken, I. H. A. (2010). Differences in attention to food and food intake between overweight/obese and normal-weight females under conditions of hunger and satiety. *Appetite*, *54*(2), 243-254. https://doi.org/10.1016/j.appet.2009.11.004

Nisbett, R. E., & Wilson, T. D. (1977). Telling more than we can know : Verbal reports on mental processes. *Psychological Review*, *84*(3), 231-259. https://doi.org/10.1037/0033-295X.84.3.231

Nuttall, F. Q. (2015). Body Mass Index. *Nutrition Today*, *50*(3), 117-128. https://doi.org/10.1097/NT.0000000000000092

OECD. (2017). *Obesity Update—OECD*. OECD. https://www.oecd.org/health/obesity-update.htm

OECD. (2019). *The Heavy Burden of Obesity*. https://www.oecd-ilibrary.org/content/publication/67450d67-en

OECD, & Statistics Canada. (2000). *Literacy in the Information Age : FINAL REPORT OF THE INTERNATIONAL ADULT LITERACY SURVEY*. OECD. http://www.oecd.org/education/skills-beyond-school/41529765.pdf

Olsho, L. E., Klerman, J. A., Wilde, P. E., & Bartlett, S. (2016). Financial incentives increase fruit and vegetable intake among Supplemental Nutrition Assistance Program participants : A randomized controlled trial of the USDA Healthy Incentives Pilot. *The American Journal of Clinical Nutrition*, *104*(2), 423-435. https://doi.org/10.3945/ajcn.115.129320

Paas, F., Renkl, A., & Sweller, J. (2003). Cognitive Load Theory and Instructional Design : Recent Developments. *Educational Psychologist*, *38*(1), 1-4. https://doi.org/10.1207/S15326985EP3801_1

Paas, F., Tuovinen, J. E., Tabbers, H., & Van Gerven, P. W. M. (2003). Cognitive Load Measurement as a Means to Advance Cognitive Load Theory. *Educational Psychologist*, *38*(1), 63-71. https://doi.org/10.1207/S15326985EP3801_8

Padwal, R. S., Pajewski, N. M., Allison, D. B., & Sharma, A. M. (2011). Using the Edmonton obesity staging system to predict mortality in a population-representative cohort of people with overweight and obesity. *CMAJ*, *183*(14), E1059-E1066. https://doi.org/10.1503/cmaj.110387

Palmgreen, P., Donohew, L., Lorch, E. P., Hoyle, R. H., & Stephenson, M. T. (2002). Television campaigns and sensation seeking targeting of adolescent marijuana use : A controlled time series approach. In *Public health communication : Evidence for behavior change* (p. 35-56). Lawrence Erlbaum Associates Publishers.

Palmisano, G. L., Innamorati, M., & Vanderlinden, J. (2016). Life adverse experiences in relation with obesity and binge eating disorder : A systematic review. *Journal of Behavioral Addictions*, *5*(1), 11-31. https://doi.org/10.1556/2006.5.2016.018

Pampel, F. C., Krueger, P. M., & Denney, J. T. (2010). Socioeconomic Disparities in Health Behaviors. *Annual review of sociology*, *36*, 349-370. https://doi.org/10.1146/annurev.soc.012809.102529

Papies, E. K. (2016). Health goal priming as a situated intervention tool : How to benefit from nonconscious motivational routes to health behaviour. *Health Psychology Review*, *10*(4), 408-424. https://doi.org/10.1080/17437199.2016.1183506

Patton, J. H., Stanford, M. S., & Barratt, E. S. (1995). Factor structure of the Barratt impulsiveness scale. *Journal of Clinical Psychology*, *51*(6), 768-774. https://doi.org/10.1002/1097-4679(199511)51:6<768::aid-jclp2270510607>3.0.co;2-1

Paunovic, N., Lundh, L.-G., & Öst, L.-G. (2002). Attentional and memory bias for emotional information in crime victims with acute posttraumatic stress disorder (PTSD). *Journal of Anxiety Disorders*, *16*(6), 675-692. https://doi.org/10.1016/S0887-6185(02)00136-6

Pelissolo, A. (2008). *L'évaluation clinique standardisée en psychiatrie, 1 : Psychopathologie générale, dépression, anxiété et anxio-dépression* (G. Julien-Daniel, Éd.). Laboratoires Pierre Fabre. http://ecsp.fr

Peng, M., Coutts, D., Wang, T., & Cakmak, Y. O. (2019). Systematic review of olfactory shifts related to obesity. *Obesity Reviews*, *20*(2), 325-338. https://doi.org/10.1111/obr.12800

Perugini, M. (2005). Predictive models of implicit and explicit attitudes. *British Journal of Social Psychology*, *44*(1), 29-45. https://doi.org/10.1348/014466604X23491

Peschel, A. O., Orquin, J. L., & Mueller Loose, S. (2019). Increasing consumers' attention capture and food choice through bottom-up effects. *Appetite*, *132*, 1-7. https://doi.org/10.1016/j.appet.2018.09.015

Petersen, S. E., & Posner, M. I. (2012). The Attention System of the Human Brain : 20 Years After. *Annual review of neuroscience*, *35*, 73-89. https://doi.org/10.1146/annurev-neuro-062111-150525

Phelan, S. M., Burgess, D. J., Yeazel, M. W., Hellerstedt, W. L., Griffin, J. M., & Ryn, M. van. (2015). Impact of weight bias and stigma on quality of care and outcomes for patients with obesity. *Obesity Reviews*, *16*(4), 319-326. https://doi.org/10.1111/obr.12266

Piacentini, A., Schell, A. M., & Vanderweele, D. A. (1993). Restrained and nonrestrained eaters' orienting responses to food and nonfood odors. *Physiology & Behavior*, *53*(1), 133-138. https://doi.org/10.1016/0031-9384(93)90021-7

Popkin, B. M. (1998). The nutrition transition and its health implications in lower-income countries. *Public Health Nutrition*, *1*(1), 5-21. https://doi.org/10.1079/PHN19980004

Popkin, B. M. (2001). The Nutrition Transition and Obesity in the Developing World. *The Journal of Nutrition*, *131*(3), 871S-873S. https://doi.org/10.1093/jn/131.3.871S

Posner, M. I., & Petersen, S. E. (1990). The attention system of the human brain. *Annual Review of Neuroscience, 13*, 25-42. https://doi.org/10.1146/annurev.ne.13.030190.000325

Posner, Michael I. (1980). Orienting of attention. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *32*(1), 3-25. https://doi.org/10.1080/00335558008248231

Price, M., Higgs, S., & Lee, M. (2015). Self-reported eating traits : Underlying components of food responsivity and dietary restriction are positively related to BMI. *Appetite*, *95*, 203-210. https://doi.org/10.1016/j.appet.2015.07.006

Price, M., Lee, M., & Higgs, S. (2016). Food-specific response inhibition, dietary restraint and snack intake in lean and overweight/obese adults : A moderated-mediation model. *International Journal of Obesity*, *40*(5), 877-882. https://doi.org/10.1038/ijo.2015.235

Prickett, C., Brennan, L., & Stolwyk, R. (2015). Examining the relationship between obesity and cognitive function : A systematic literature review. *Obesity Research & Clinical Practice*, *9*(2), 93-113. https://doi.org/10.1016/j.orcp.2014.05.001

Prickett, C., Stolwyk, R., O'Brien, P., & Brennan, L. (2018). Neuropsychological Functioning in Mid-life Treatment-Seeking Adults with Obesity : A Cross-sectional Study. *Obesity Surgery*, *28*(2), 532-540. https://doi.org/10.1007/s11695-017-2894-0

Puhl, R., & Brownell, K. D. (2001). Bias, Discrimination, and Obesity. *Obesity Research*, *9*(12), 788-805. https://doi.org/10.1038/oby.2001.108

Puhl, R. M., & Heuer, C. A. (2010). Obesity Stigma : Important Considerations for Public Health. *American Journal of Public Health*, *100*(6), 1019-1028. https://doi.org/10.2105/AJPH.2009.159491

Puhl, R. M., Luedicke, J., & Heuer, C. A. (2013). The Stigmatizing Effect of Visual Media Portrayals of Obese Persons on Public Attitudes : Does Race or Gender Matter? *Journal of Health Communication*, *18*(7), 805-826. https://doi.org/10.1080/10810730.2012.757393

Purnell, J. Q. (2000). Definitions, Classification, and Epidemiology of Obesity. In K. R. Feingold, B. Anawalt, A. Boyce, G. Chrousos, K. Dungan, A. Grossman, J. M.

Hershman, G. Kaltsas, C. Koch, P. Kopp, M. Korbonits, R. McLachlan, J. E. Morley, M. New, L. Perreault, J. Purnell, R. Rebar, F. Singer, D. L. Trence, … D. P. Wilson (Éds.), *Endotext*. MDText.com, Inc. http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK279167/

R Development Core Team. (2008). *R: A Language and Environment for Statistical Computing* (3.4.3) [Computer software]. R Foundation for Statistical Computing. http://www.r-project.org%7D%2C/

Rabia, M., Knäuper, B., & Miquelon, P. (2006). The eternal quest for optimal balance between maximizing pleasure and minimizing harm : The compensatory health beliefs model. *British Journal of Health Psychology*, *11*(1), 139-153. https://doi.org/10.1348/135910705X52237

Raghunathan, R., Naylor, R. W., & Hoyer, W. D. (2006). The Unhealthy = Tasty Intuition and Its Effects on Taste Inferences, Enjoyment, and Choice of Food Products: *Journal of Marketing*. https://doi.org/10.1509/jmkg.70.4.170

Raman, L. (2014). Children's and adults' understanding of the impact of nutrition on biological and psychological processes. *British Journal of Developmental Psychology*, *32*(1), 78-93. https://doi.org/10.1111/bjdp.12024

Rauss, K., & Pourtois, G. (2013). What is Bottom-Up and What is Top-Down in Predictive Coding? *Frontiers in Psychology*, *4*. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2013.00276

Rioux, C., Picard, D., & Lafraire, J. (2016). Food rejection and the development of food categorization in young children. *Cognitive Development*, *40*, 163-177. https://doi.org/10.1016/j.cogdev.2016.09.003

Roberts, M. E., Tchanturia, K., Stahl, D., Southgate, L., & Treasure, J. (2007). A systematic review and meta-analysis of set-shifting ability in eating disorders. *Psychological Medicine*, *37*(8), 1075-1084. https://doi.org/10.1017/S0033291707009877

Robinson, E., Aveyard, P., Daley, A., Jolly, K., Lewis, A., Lycett, D., & Higgs, S. (2013). Eating attentively : A systematic review and meta-analysis of the effect of food intake memory and awareness on eating. *The American Journal of Clinical Nutrition*, *97*(4), 728-742. https://doi.org/10.3945/ajcn.112.045245

Robinson, M. J. F., Robinson, T. E., & Berridge, K. C. (2013). Incentive Salience and the Transition to Addiction. In *Biological Research on Addiction* (p. 391-399). Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-398335-0.00039-X

Robinson, T. E., & Berridge, K. C. (1993). The neural basis of drug craving : An incentive-sensitization theory of addiction. *Brain Research. Brain Research Reviews*, *18*(3), 247-291.

Robinson, T. E., & Berridge, K. C. (2003). Addiction. *Annual Review of Psychology*, *54*(1), 25-53. https://doi.org/10.1146/annurev.psych.54.101601.145237

Robinson, T. E., & Berridge, K. C. (2008). The incentive sensitization theory of addiction : Some current issues. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, *363*(1507), 3137-3146. https://doi.org/10.1098/rstb.2008.0093

Rolls, B. J., Morris, E. L., & Roe, L. S. (2002). Portion size of food affects energy intake in normal-weight and overweight men and women. *The American Journal of Clinical Nutrition*, *76*(6), 1207-1213. https://doi.org/10.1093/ajcn/76.6.1207

Rolls, E. T. (2005). Taste, olfactory, and food texture processing in the brain, and the control of food intake. *Physiology & Behavior*, *85*(1), 45-56. https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2005.04.012

Rosseel, Y. (2012). lavaan : An R Package for Structural Equation Modeling. *Journal of Statistical Software*, *48*(1), 1-36. https://doi.org/10.18637/jss.v048.i02

Rozin, P. (1982). "Taste-smell confusions" and the duality of the olfactory sense. *Perception & Psychophysics*, *31*(4), 397-401. https://doi.org/10.3758/BF03202667

Rozin, P., Scott, S., Dingley, M., Urbanek, J. K., Jiang, H., & Kaltenbach, M. (2012). *Nudge to nobesity I : Minor changes in accessibility decrease food intake*. https://www.scienceopen.com/document?vid=a4499697-267f-431e-8aab-d62e6638e381

Rubino, F., Puhl, R. M., Cummings, D. E., Eckel, R. H., Ryan, D. H., Mechanick, J. I., Nadglowski, J., Ramos Salas, X., Schauer, P. R., Twenefour, D., Apovian, C. M., Aronne, L. J., Batterham, R. L., Berthoud, H.-R., Boza, C., Busetto, L., Dicker, D., De Groot, M., Eisenberg, D., … Dixon, J. B. (2020). Joint international consensus statement for ending stigma of obesity. *Nature Medicine*, *26*(4), 485-497. https://doi.org/10.1038/s41591-020-0803-x

Rumiati, R. I., & Foroni, F. (2016). We are what we eat : How food is represented in our mind/brain. *Psychonomic Bulletin & Review*, *23*(4), 1043-1054. https://doi.org/10.3758/s13423-015-0908-2

Sabin, J. A., Marini, M., & Nosek, B. A. (2012). Implicit and Explicit Anti-Fat Bias among a Large Sample of Medical Doctors by BMI, Race/Ethnicity and Gender. *PLOS ONE*, *7*(11), e48448. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0048448

Sanchez, G. (2012). *plsdepot : Partial Least Squares (PLS) Data Analysis Methods* (0.1.17) [Computer software]. https://CRAN.R-project.org/package=plsdepot

Sarwer, D. B., & Polonsky, H. M. (2016). The Psychosocial Burden of Obesity. *Endocrinology and Metabolism Clinics of North America*, *45*(3), 677-688. https://doi.org/10.1016/j.ecl.2016.04.016

Schachter, S. (1968). Obesity and Eating. *Science*, *161*(3843), 751-756. https://doi.org/10.1126/science.161.3843.751

Schlienger, J.-L. (2015). Du gras prestigieux au gras honteux : Histoire médicale de l'obésité. *Médecine des Maladies Métaboliques*, *9*(6), 625-631. https://doi.org/10.1016/S1957-2557(15)30235-2

Segev, E. (2010). 4—Users and uses of Google's information. In E. Segev (Éd.), *Google and the Digital Divide* (p. 75-110). Chandos Publishing. https://doi.org/10.1016/B978-1-84334-565-7.50004-6

Shank, L. M., Tanofsky-Kraff, M., Nelson, E. E., Shomaker, L. B., Ranzenhofer, L. M., Hannallah, L. M., Field, S. E., Vannucci, A., Bongiorno, D. M., Brady, S. M., Condarco, T., Demidowich, A., Kelly, N. R., Cassidy, O., Simmons, W. K., Engel, S. G., Pine, D. S., & Yanovski, J. A. (2015). Attentional Bias to Food Cues in Youth with Loss of Control Eating. *Appetite*, *87*, 68-75. https://doi.org/10.1016/j.appet.2014.11.027

Sharma, A. M., & Kushner, R. F. (2009). A proposed clinical staging system for obesity. *International Journal of Obesity*, *33*(3), 289-295. https://doi.org/10.1038/ijo.2009.2

Shiv, B., & Fedorikhin, A. (1999). Heart and Mind in Conflict : The Interplay of Affect and Cognition in Consumer Decision Making. *Journal of Consumer Research*, *26*(3), 278-292. JSTOR. https://doi.org/10.1086/209563

Simmonds, M., Llewellyn, A., Owen, C. G., & Woolacott, N. (2016). Predicting adult obesity from childhood obesity : A systematic review and meta-analysis. *Obesity Reviews*, *17*(2), 95-107. https://doi.org/10.1111/obr.12334

Sjöström, L., Lindroos, A.-K., Peltonen, M., Torgerson, J., Bouchard, C., Carlsson, B., Dahlgren, S., Larsson, B., Narbro, K., Sjöström, C. D., Sullivan, M., & Wedel, H. (2004). Lifestyle, Diabetes, and Cardiovascular Risk Factors 10 Years after Bariatric Surgery. *New England Journal of Medicine*, *351*(26), 2683-2693. https://doi.org/10.1056/NEJMoa035622

Skinner, B. F. (1953). *Science and human behavior* (p. x, 461). Macmillan.

Smeets, M. A. M., & Dijksterhuis, G. B. (2014). Smelly primes – when olfactory primes do or do not work. *Frontiers in Psychology*, *5*. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2014.00096

Spence, C. (2017). Comfort food : A review. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, *9*, 105-109. https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2017.07.001

Spence, C., Okajima, K., Cheok, A. D., Petit, O., & Michel, C. (2016). Eating with our eyes : From visual hunger to digital satiation. *Brain and Cognition*, *110*, 53-63. https://doi.org/10.1016/j.bandc.2015.08.006

Stafford, L. D., & Whittle, A. (2015). Obese Individuals Have Higher Preference and Sensitivity to Odor of Chocolate. *Chemical Senses*, *40*(4), 279-284. https://doi.org/10.1093/chemse/bjv007

Stevenson, R. J. (2010). An Initial Evaluation of the Functions of Human Olfaction. *Chemical Senses*, *35*(1), 3-20. https://doi.org/10.1093/chemse/bjp083

Stunkard, A. J., Sørensen, T., & Schulsinger, F. (1983). Use of the Danish Adoption Register for the study of obesity and thinness. *Research Publications - Association for Research in Nervous and Mental Disease*, *60*, 115-120.

Sweller, J., Merrienboer, J. van, & Paas, F. (2019). Cognitive Architecture and Instructional Design : 20 Years Later. *Faculty of Social Sciences - Papers (Archive)*, 261-292. https://doi.org/10.1007/s10648-019-09465-5

Swinburn, B. A., Egger, G., & Raza, F. (1999). Dissecting Obesogenic Environments : The Development and Application of a Framework for Identifying and Prioritizing Environmental Interventions for Obesity. *Preventive Medicine*, *29*(6), 563-570. https://doi.org/10.1006/pmed.1999.0585

Swinburn, B. A., Sacks, G., Hall, K. D., McPherson, K., Finegood, D. T., Moodie, M. L., & Gortmaker, S. L. (2011). The global obesity pandemic : Shaped by global drivers and local environments. *The Lancet*, *378*(9793), 804-814. https://doi.org/10.1016/S0140-6736(11)60813-1

Tabatabaee, H. R., Rezaianzadeh, A., & Jamshidi, M. (2018). Mediators in the Relationship between Internet Addiction and Body Mass Index : A Path Model Approach Using Partial Least Square. *Journal of Research in Health Sciences*, *18*(3), Article 3. https://doi.org/10.34172/jrhs184163

Teslovich, T., Freidl, E. K., Kostro, K., Weigel, J., Davidow, J. Y., Riddle, M. C., Helion, C., Dreyfuss, M., Rosenbaum, M., Walsh, B. T., Casey, B. J., & Mayer, L. (2014). Probing behavioral responses to food : Development of a food-specific go/no-go task. *Psychiatry Research*, *219*(1), 166-170. https://doi.org/10.1016/j.psychres.2014.04.053

Thaker, V. V. (2017). GENETIC AND EPIGENETIC CAUSES OF OBESITY. *Adolescent medicine: state of the art reviews*, *28*(2), 379-405.

Thaler, R. H., & Sunstein, C. R. (2009). *Nudge : Improving Decisions About Health, Wealth, and Happiness* (Revised&Expanded edition). Penguin Books.

Références

The Associated Press. (2006, octobre 17). *Denmark trims trans fats from nation's menus | CBC News*. CBC News. https://www.cbc.ca/news/denmark-trims-trans-fats-from-nation-s-menus-1.596970

The WHOQOL Group. (1998). Development of the World Health Organization WHOQOL-BREF quality of life assessment. *Psychological Medicine*, *28*(3), 551-558. https://doi.org/10.1017/s0033291798006667

Thomas-Danguin, T., Rouby, C., Sicard, G., Vigouroux, M., Farget, V., Johanson, A., Bengtzon, A., Hall, G., Ormel, W., De Graaf, C., Rousseau, F., & Dumont, J.-P. (2003). Development of the ETOC: a European test of olfactory capabilities. *Rhinology*, *41*(3), 142-151.

Toet, A., Kaneko, D., de Kruijf, I., Ushiama, S., van Schaik, M. G., Brouwer, A.-M., Kallen, V., & van Erp, J. B. F. (2019). CROCUFID : A Cross-Cultural Food Image Database for Research on Food Elicited Affective Responses. *Frontiers in Psychology*, *10*. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.00058

Tomiyama, A. J., Hunger, J. M., Nguyen-Cuu, J., & Wells, C. (2016). Misclassification of cardiometabolic health when using body mass index categories in NHANES 2005–2012. *International Journal of Obesity*, *40*(5), 883-886. https://doi.org/10.1038/ijo.2016.17

Townshend, T., & Lake, A. (2017). Obesogenic environments : Current evidence of the built and food environments. *Perspectives in Public Health*, *137*(1), 38-44. https://doi.org/10.1177/1757913916679860

Tuschl, R. J. (1990). From dietary restraint to binge eating : Some theoretical considerations. *Appetite*, *14*(2), 105-109. https://doi.org/10.1016/0195-6663(90)90004-R

Tversky, A., & Kahneman, D. (1974). Judgment under Uncertainty : Heuristics and Biases. *Science*, *185*(4157), 1124-1131. https://doi.org/10.1126/science.185.4157.1124

Tylka, T. L., Annunziato, R. A., Burgard, D., Daníelsdóttir, S., Shuman, E., Davis, C., & Calogero, R. M. (2014). The Weight-Inclusive versus Weight-Normative Approach to Health : Evaluating the Evidence for Prioritizing Well-Being over Weight Loss. *Journal of Obesity*, *2014*. https://doi.org/10.1155/2014/983495

Ulla, M. (2015). L'obésité d'un travailleur constitutive d'un handicap relevant de la protection de la Directive 2000/78 – L'évolution récente de la notion de handicap en droit de l'Union européenne. *Revue québécoise de droit international*, *28*(1), 185-202.

van Strien, T. (2018). Causes of Emotional Eating and Matched Treatment of Obesity. *Current Diabetes Reports*, *18*(6). https://doi.org/10.1007/s11892-018-1000-x

van Strien, T., Frijters, J. E. R., Bergers, G. P. A., & Defares, P. B. (1986). The Dutch Eating Behavior Questionnaire (DEBQ) for assessment of restrained, emotional, and external eating behavior. *International Journal of Eating Disorders*, *5*(2), 295-315. https://doi.org/10.1002/1098-108X(198602)5:2<295::AID-EAT2260050209>3.0.CO;2-T

van Strien, T., Peter Herman, C., & Anschutz, D. (2012). The predictive validity of the DEBQ-external eating scale for eating in response to food commercials while watching television. *International Journal of Eating Disorders*, *45*(2), 257-262. https://doi.org/10.1002/eat.20940

van Vliet-Ostaptchouk, J. V., Nuotio, M.-L., Slagter, S. N., Doiron, D., Fischer, K., Foco, L., Gaye, A., Gögele, M., Heier, M., Hiekkalinna, T., Joensuu, A., Newby, C., Pang, C., Partinen, E., Reischl, E., Schwienbacher, C., Tammesoo, M.-L., Swertz, M. A., Burton, P., … Wolffenbuttel, B. H. (2014). The prevalence of metabolic syndrome and metabolically healthy obesity in Europe : A collaborative analysis of ten large cohort studies. *BMC Endocrine Disorders*, *14*, 9. https://doi.org/10.1186/1472-6823-14-9

Verdot, C., Torres, M., Salanave, B., & Deschamps, V. (2017). *Corpulence des enfants et des adultes en France métropolitaine en 2015. Résultats de l'étude Esteban et évolution depuis 2006*. 234-241.

Volkow, N. D., Wang, G.-J., & Baler, R. D. (2011). Reward, dopamine and the control of food intake : Implications for obesity. *Trends in Cognitive Sciences*, *15*(1), 37-46. https://doi.org/10.1016/j.tics.2010.11.001

Volkow, N. D., Wang, G.-J., Fowler, J. S., & Telang, F. (2008). Overlapping neuronal circuits in addiction and obesity : Evidence of systems pathology. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, *363*(1507), 3191-3200. https://doi.org/10.1098/rstb.2008.0107

Volkow, N. D., & Wise, R. A. (2005). How can drug addiction help us understand obesity? *Nature Neuroscience*, *8*(5), 555-560. https://doi.org/10.1038/nn1452

Wang, G.-J., Volkow, N. D., Logan, J., Pappas, N. R., Wong, C. T., Zhu, W., Netusll, N., & Fowler, J. S. (2001). Brain dopamine and obesity. *The Lancet*, *357*(9253), 354-357. https://doi.org/10.1016/S0140-6736(00)03643-6

Wegner, D. M. (1994). Ironic processes of mental control. *Psychological Review*, *101*(1), 34-52. https://doi.org/10.1037/0033-295X.101.1.34

Welsh, M. C., & Pennington, B. F. (1988). Assessing frontal lobe functioning in children : Views from developmental psychology. *Developmental Neuropsychology*, *4*(3), 199-230. https://doi.org/10.1080/87565648809540405

Werle, C. O. C., & Cuny, C. (2012). The boomerang effect of mandatory sanitary messages to prevent obesity. *Marketing Letters*, *23*(3), 883-891. https://doi.org/10.1007/s11002-012-9195-0

Werle, C. O. C., Trendel, O., & Ardito, G. (2013). Unhealthy food is not tastier for everybody : The "healthy=tasty" French intuition. *Food Quality and Preference*, *28*(1), 116-121. https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2012.07.007

Werthmann, J., Roefs, A., Nederkoorn, C., Mogg, K., Bradley, B. P., & Jansen, A. (2011). Can(not) take my eyes off it : Attention bias for food in overweight participants. *Health Psychology: Official Journal of the Division of Health Psychology, American Psychological Association*, *30*(5), 561-569. https://doi.org/10.1037/a0024291

Westfall, J. M., & Fernald, D. H. (2010). Stop the escalators : Using the built environment to increase usual daily activity. *Pragmatic and Observational Research*, *1*, 7-9. https://doi.org/10.2147/POR.S13386

Whiteside, S. P., & Lynam, D. R. (2001). The Five Factor Model and impulsivity : Using a structural model of personality to understand impulsivity. *Personality and Individual Differences*, *30*(4), 669-689. https://doi.org/10.1016/S0191-8869(00)00064-7

WHO. (2020a). *Global Health Observatory (GHO) data—Overweight and obesity*. WHO; World Health Organization. http://www.who.int/gho/ncd/risk_factors/overweight_obesity/obesity_adults/en/

WHO. (2020b). *Obesity and overweight*. World Health Organization. https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/obesity-and-overweight

WHO. (2020c). *Prevalence of obesity among adults, BMI >= 30 (age-standardized estimate) (%)*. https://www.who.int/data/maternal-newborn-child-adolescent/monitor

Wieland, A., Durach, C. F., Kembro, J., & Treiblmaier, H. (2017). Statistical and judgmental criteria for scale purification. *Supply Chain Management: An International Journal*, *22*(4), 321-328. https://doi.org/10.1108/SCM-07-2016-0230

Williams, S. L., & Cervone, D. (1998). Social Cognitive Theories of Personality. In D. F. Barone, M. Hersen, & V. B. Van Hasselt (Éds.), *Advanced Personality* (p. 173-207). Springer US. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-8580-4_8

Wong, M., & Qian, M. (2016). The role of shame in emotional eating. *Eating Behaviors*, *23*, 41-47. https://doi.org/10.1016/j.eatbeh.2016.07.004

Yang, Y., Shields, G. S., Guo, C., & Liu, Y. (2018). Executive function performance in obesity and overweight individuals : A meta-analysis and review. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, *84*, 225-244. https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2017.11.020

Yanovski, S. Z. (2002). Binge Eating in Obese Persons. In C. G. Fairburn & K. D. Brownell (Éds.), *Eating Disorders and Obesity : A Comprehensive Handbook* (p. 403-407). Guilford Press.

Yokum, S., Ng, J., & Stice, E. (2011). Attentional Bias to Food Images Associated With Elevated Weight and Future Weight Gain : An fMRI Study. *Obesity*, *19*(9), 1775-1783. https://doi.org/10.1038/oby.2011.168

Zhang, X., Chen, X., Yu, Y., Sun, D., Ma, N., He, S., Hu, X., & Zhang, D. (2009). Masked smoking-related images modulate brain activity in smokers. *Human Brain Mapping*, *30*(3), 896-907. https://doi.org/10.1002/hbm.20552

Ziegler, O. (2014). *Quelle nouvelle classification pour une prise en charge personnalisée ?* 24.

Zimmerman, F. J., & Shimoga, S. V. (2014). The effects of food advertising and cognitive load on food choices. *BMC Public Health*, *14*(1), 342. https://doi.org/10.1186/1471-2458-14-342

Zimmermann, P., & Fimm, B. (2010). *Tests d'Évaluation de l'Attention (TAP)* (Version 2.3.1.) [Computer software]. Herzogenrath: Psytest.

Zuckerman, M. (2008). Sensation Seeking. In *The International Encyclopedia of Communication*. American Cancer Society. https://doi.org/10.1002/9781405186407.wbiecs029