

Contributions à l'utilisation de la réalité virtuelle pour la thérapie des troubles du comportement alimentaire

Florian Ramousse

▶ **To cite this version:**

Florian Ramousse. Contributions à l'utilisation de la réalité virtuelle pour la thérapie des troubles du comportement alimentaire. Autre. Ecole Centrale de Lyon, 2024. Français. ⟨NNT : 2024ECDL0023⟩. ⟨tel-04659104⟩

HAL Id: tel-04659104

https://theses.hal.science/tel-04659104v1

Submitted on 22 Jul 2024

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

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



HAL Authorization

THÈSE DE DOCTORAT DE L'UNIVERSITÉ DE LYON

opérée au sein de

L'ÉCOLE CENTRALE DE LYON

membre de l'Université de Lyon

École Doctorale N° 488 Sciences Ingénierie Santé

Spécialité : Informatique

Soutenue publiquement le 19 juin 2024, par :

Florian RAMOUSSE

CONTRIBUTIONS A L'UTILISATION DE LA RÉALITÉ VIRTUELLE POUR LA THÉRAPIE DES TROUBLES DU COMPORTEMENT ALIMENTAIRE

Devant le jury composé de :

GUILLAUME Sébastien	PU-PH Université de Montpellier	Rapporteur
GOURANTON Valérie	MCF HDR INSA Rennes	Rapporteur
GODART Nathalie	PU-PH CHU Université Versailles Saint-Quentin-en-Yvelines	Examinateur
QUERREC Ronan	PU ENIB Brest	Examinateur
MASSOUBRE Catherine	PU-PH Université de Saint-Etienne	Co-directeur de Thèse
LAVOUE Guillaume	PU Ecole Centrale de Lyon	Co-directeur de Thèse
GAY Aurélia	PH Université de Saint-Etienne	Co-encadrant de Thèse
DIDIER Clémentine	MCF Ecole Centrale de Lyon	Co-encadrant de Thèse

Cette thèse est accessible à l'adresse :

© [F. Ramousse], [2024], Ecole Centrale de Lyon, tous droits réservés

Affidavit

Je soussigné, M. Florian RAMOUSSE, déclare que le travail présenté dans ce manuscrit est mon propre travail, supervisé sous la direction scientifique de M. Guillaume LAVOUE et de Mme. Catherine MASSOUBRE, dans le respect des principes d'éthiques et d'intégrité de la recherche scientifique.

Ce travail n'a pas été précédemment soumis en France ou à l'étranger dans une version identique ou similaire à un organisme examinateur.

Fait à Saint-Étienne, le 26 juin 2024.

Résumé

L'utilisation des technologies immersives destinées à des fins thérapeutiques est pratiquée depuis plusieurs années. Si ces techniques furent d'abord appliquées aux troubles phobiques, elles se sont peu à peu étendues vers d'autres pathologies telles que la schizophrénie et les troubles alimentaires.

Les travaux existants concernant l'utilisation de la réalité virtuelle (*RV*) pour le traitement de troubles alimentaires se concentrent sur deux problématiques : (1) la correction de la distorsion de la représentation que le patient se fait de lui-même et pour laquelle la RV l'aide à corriger cette représentation erronée *via* l'incarnation ou la visualisation d'un avatar ; (2) l'utilisation de l'environnement avec des éléments déclencheurs de la pathologie (ex., nourriture) dans le but de mieux caractériser les symptômes et de réaliser une thérapie d'exposition aux signaux.

Le premier objectif de la thèse est de proposer et d'évaluer un environnement immersif induisant les condition de craving alimentaire (besoin irrépressible de consommation d'un produit associé à une recherche compulsive), le tout chez les personnes atteintes de *bulimia nervosa* ou d'hyperphagie boulimique, comparativement à des personnes saines appariées. Le développement de cet environnement repose sur un travail de design collaboratif, dans lequel l'utilisation d'un environnement immersif avec un scénario scripté et semi-guidé, avec des stimuli multi-modaux, constitue un élément novateur.

La caractérisation de l'environnement s'effectue sur l'actuelle mesure de référence du craving alimentaire en RV soit une auto-évaluation par échelle verbale simple dont nous étudions les variations durant l'exploration du scénario avant et après chaque pièce virtuelle d'exposition, ainsi que son association à l'anxiété induite par l'exploration aux mêmes moments. De plus, certains paramètres physiologiques ayant pu être associés au craving des troubles addictifs sont mesurés aux différents moments d'évaluation (variabilité de fréquence cardiaque (variations des intervalles entre chaque battement de coeur) et activité électrodermale (activité bioélectrique cutanée physiologique)). Enfin, nous utilisons également des méthodes de phénotypage, basées sur des questionnaires d'auto-évaluation, qui visent à mettre en évidence des dimensions comportementales et émotionnelles qui peuvent être des facteurs propices au déclenchement des crises.

Par ailleurs, dans le cadre des études sur l'envie de manger, la qualité visuelle apparaît comme un paramètre majeur qu'il faut contrôler afin de proposer des environnements

adaptés aux contraintes d'expérience utilisateur ainsi qu'aux contraintes techniques. Le second objectif de la thèse est d'étudier comment la qualité visuelle des stimuli alimentaires influence le désir de manger dans un environnement en réalité virtuelle. Cette évaluation s'effectue sur des personnes non pathologiques, avec des visuels alimentaires de qualité graphique variable et classés au préalable selon une métrique entraînée sur un apprentissage profond capable de délivrer un score moyen de qualité graphique.

Mot-clés—réalité virtuelle, craving alimentaire, thérapie d'exposition, modèles 3D, qualité graphique

Abstract

The use of immersive technologies for therapeutic purposes has been practiced for several years. While these techniques were initially applied to phobic disorders, they have gradually expanded to other disorders such as anxiety, schizophrenia and eating disorders.

Existing research on the use of virtual reality (*VR*) for the treatment of eating disorders focuses on two issues : (1) correcting the distortion of the patient's self-representation, where VR helps correct this erroneous representation through embodiment or visualization of an avatar (2) using the environment with triggering elements of the pathology (e.g., food) to better characterize symptoms and conduct exposure therapy to these cues.

The first objective of the thesis is to propose and evaluate an immersive environment inducing conditions of food craving (irresistible urge to consume a product associated with compulsive seeking) in individuals with bulimia nervosa or binge-eating disorder, compared to matched healthy subjects. The development of this environment is based on collaborative design work, in which the use of multi-modal stimuli is an innovative element.

The characterization of the environment is based on the current reference measure of food craving in VR, which is a self-assessment using a simple verbal scale. We study variations during the exploration of the scenario before and after each virtual exposure, as well as its association with anxiety induced by the exploration at the same moments. Additionally, certain physiological parameters previously associated with cravings in addictive disorders are measured at different evaluation points (heart rate variability and electrodermal activity). Finally, we also use phenotyping methods based on self-assessment questionnaires to highlight behavioral and emotional dimensions that may contribute to triggering episodes.

Moreover, in the context of studies on the desire to eat, visual quality emerges as a major parameter that needs to be controlled to offer environments suitable for user experience constraints and technical limitations. The second objective of the thesis is to study how the visual quality of food stimuli influences the desire to eat in a virtual reality environment. This evaluation is performed on non-pathological individuals, with food visuals of varying graphic quality, pre-classified according to a deep learning-trained metric capable of delivering an average graphic quality score.

Keywords—virtual reality, food craving, exposure therapy, 3D models, graphic quality

Remerciements

Je tiens tout d'abord à exprimer ma profonde gratitude à ma famille : ma mère, mon père, mes sœurs, ma grand-mère ainsi que mon parrain, dont l'aide et le soutien constants ont jalonné chaque étape de ma scolarité et de mon parcours.

Je souhaite également témoigner de ma reconnaissance à mon directeur de thèse, **Guillaume LAVOUE**, pour la confiance qu'il m'a accordée et l'opportunité précieuse qu'il m'a offerte de mener à bien ce travail. Ses conseils avisés, ses corrections minutieuses et ses encouragements bienveillants ont été essentiels pour la réalisation de cette recherche, me permettant de la présenter avec succès et d'en retirer une expérience des plus enrichissantes, tant sur le plan professionnel que personnel. Je tiens aussi à remercier chaleureusement mes autres encadrants de thèse : **Clémentine DIDIER**, **Catherine MASSOUBRE**, et **Aurélia GAY**, pour leur soutien et leur accompagnement. Merci aussi aux membres externes de mon jury de thèse : **Sébastien GUILLAUME**, **Valérie GOURANTON**, **Nathalie GODART** et **Ronan QUERREC**.

Mon appréciation va également à l'équipe XR du LIRIS. Un immense merci à **Pierre RAIMBAUD**, **Eliott ZIMMERMANN**, **Pierre-Philippe ELST**, ainsi qu'aux doctorants et doctorantes actuels, **Sophie VILLENAVE**, **Charles JAVERLIAT** et **Matthieu BLANCHARD**, pour leur collaboration et leurs échanges enrichissants. Une mention spéciale à **Patrick BAERT**, qui m'a accompagné lors de mon stage de fin d'études, jetant ainsi les bases de cette thèse, et à **Audrey PICHARD**, stagiaire en quatrième année à Centrale-Lyon/ENISE au début de ma thèse, pour son travail avec moi sur la création d'une interface numérique destinée au remplissage des questionnaires psychométriques de l'étude ReVBED.

Ma plus grande reconnaissance à **Séverine FLEURY**, dont l'aide infaillible a été déterminante pour la réalisation de l'étude clinique principale de ma thèse. Merci infiniment pour ton efficacité et ton professionnalisme exemplaires, qui resteront pour moi une source d'inspiration dans la poursuite de ma carrière.

Merci à tous les membres du pôle productique de Centrale-Lyon/ENISE, dont la gentillesse et l'humour ont embelli mon quotidien de doctorant, rendant cette expérience encore plus plaisante et mémorable.

Ayant été également, en parallèle, élève au Conservatoire à Rayonnement Régional de Saint-Étienne, je souhaite remercier les deux professeurs de percussions, **Philippe BOISSON** ainsi que **Denis KRACHT-NOËL**. Avec eux, j'ai pu obtenir mon Diplôme d'Étude Musicale (DEM). Ils ont aussi été un soutien sans faille durant tout mon parcours doctoral. Mention également à mon collègue percussionniste, **Baptiste VASSAL**, ainsi qu'à tous

les membres de l'**Orchestre Massenet**, du **BrassBand Loire Forez (BBLF)**, ainsi qu'au directeur de ce conservatoire, **Boris-Numa DAMESTOY**.

Et bien sûr, un grand merci à ma compagne, **Juliette BERGIRON**. Son encouragement constant et sa compréhension bienveillante ont été des piliers sur lesquels j'ai pu m'appuyer tout au long de mon doctorat. Je lui suis éternellement reconnaissant pour sa présence réconfortante.

Dédicaces

Je dédie cette thèse à toutes les personnes qui m'ont aidé, de près ou de loin, à réaliser ce travail. Je la dédie aussi à toutes les personnes atteintes d'un trouble du comportement : puisse ce travail contribuer à une meilleure compréhension de leur réalité et à l'amélioration des approches thérapeutiques pour leur offrir un avenir plus serein et épanouissant. N'oublions cependant pas que chacun de nous a le pouvoir d'apporter du soutien et de la compassion, et de faire en sorte que ceux qui souffrent de troubles du comportement alimentaire ne se sentent jamais seuls ou incompris. Ces actions sont la meilleure thérapie que l'on puisse leur offrir.

"Et que deux choses seulement dirigent bien, l'opinion vraie et la science, avec le secours desquelles l'homme se dirige bien : car ce qui arrive par hasard n'est point l'effet d'une direction humaine : et ces deux choses seulement dirigent bien l'homme, l'opinion vraie et la science."

— PLATON

"Un travail incessant, une analyse, une réflexion, beaucoup d'écriture, une auto-correction sans fin ; c'est mon secret."

— Jean-Sébastien BACH

"L'activité est indispensable au bonheur ; il faut que l'homme agisse, fasse quelque chose si cela lui est possible ou apprenne au moins quelque chose."

— Arthur SCHOPENHAUER

"Que la science que nous acquérons par la lecture ne soit pour nous que le ciseau du sculpteur ; qu'elle nous aide à tailler le bloc de pensées et de sentiments qui fait le fond de nous-mêmes."

— Octave PIRMEZ

"Heureux l'homme libre, brave et travailleur."

— Joseph Ferdinand CHEVAL, dit Le facteur CHEVAL

Table des Matières

Affidavit ii

Résumé iv

Remerciements viii

Dédicaces x

Liste des Figures xx

Liste des Tables xxv

1 Introduction 1

1.1 Contexte . . . 2

1.2 Contributions . . . 3

2 Etat de l'Art 5

2.1 Histoire des TCA et définition . . . 7

2.1.1 Premières perspectives historiques . . . 7

2.1.2 Les TCA et le DSM5 . . . 7

2.1.2.1 Anorexia Nervosa . . . 8

2.1.2.2 Bulimia Nervosa . . . 8

2.1.2.3 Hyperphagie Boulimique . . . 9

2.2 Traitements des Troubles du Comportement Alimentaire . . . 10

2.2.1 TCC . . . 10

2.2.1.1 1ère vague . . . 10
2.2.1.2 2ème vague . . . 10
2.2.1.3 3ème vague . . . 11
2.2.2 Limite actuelles des TCC traditionnelles . . . 12
2.2.3 Les TCA et la RV . . . 12
2.2.3.1 Historique . . . 12
2.2.3.2 Les méthodes de traitement des TCA en RV . . . 13
2.2.3.3 Les limites des traitements des TCA en RV . . . 22
2.3 Études sur les comportements liés à l'alimentation en RV . . . 22
2.3.1 Méthodes de création de contenu 3D . . . 23
2.3.2 Influence de l'environnement RV dans les applications alimentaires . 26
2.4 Conclusion . . . 27

3 ReVBED : Développement d'un environnement en RV pour l'induction de craving alimentaire à destination des thérapies des TCA 28

3.1 Origine de la réflexion de l'environnement . . . 30
3.1.1 Choix de conception . . . 30
3.1.2 Recommandations sur l'usage des équipements de RV . . . 31
3.1.3 Conception de la disposition de l'environnement . . . 32
3.2 Choix de conception . . . 35
3.2.1 Espace d'évolution . . . 35
3.2.2 Résumé du scénario d'exposition . . . 39
3.2.3 Méthodes d'interactions . . . 39
3.2.4 Choix du matériel . . . 39
3.2.4.1 PC . . . 39
3.2.4.2 Matériels de RV . . . 40
3.2.4.3 Aspects sonores . . . 43
3.3 Détails techniques . . . 44

3.3.1 Scripting . . . 44
3.3.2 Transition entre les pièces d'exposition . . . 44
3.3.3 Modélisation . . . 45
3.3.3.1 Pipeline et lighting . . . 45
3.3.3.2 Post-processing . . . 46
3.4 Détail sur les pièces d'exposition . . . 47
3.4.1 Hall de l'immeuble . . . 47
3.4.2 Couloir principal . . . 49
3.4.3 Chambre à coucher . . . 49
3.4.4 Chambre de l'adolescent . . . 53
3.4.5 Salon . . . 55
3.4.6 Cuisine . . . 57
3.5 Conclusion . . . 61

4 Expérimentation visant la validation pré-thérapeutique de ReVBED 62
4.1 Objectifs de l'étude . . . 65
4.1.1 Objectif principal . . . 65
4.1.2 Objectifs secondaires . . . 65
4.2 Hypothèses . . . 66
4.3 Critères d'évaluation et mesures . . . 67
4.3.1 Échelle Verbale Simple (EVS) . . . 67
4.3.2 Questionnaires psychométriques . . . 68
4.3.2.1 BULIT . . . 68
4.3.2.2 EDI-2 . . . 69
4.3.2.3 DEBQ . . . 69
4.3.2.4 MAIA . . . 70
4.3.2.5 UPPS . . . 70
4.3.2.6 DERS . . . 71

4.3.2.7 YFAS 2.0 . . . 71
4.3.2.8 FCQ-T-r . . . 73
4.3.3 Questionnaires d'évaluation de l'immersion en RV . . . 73
4.3.3.1 SSQ . . . 73
4.3.3.2 IPQ . . . 74
4.3.4 Mesures Physiologiques . . . 74
4.3.4.1 VFC . . . 74
4.3.4.2 AED . . . 77
4.4 Caractérisation de la population . . . 78
4.4.1 Répartition selon le genre et l'âge . . . 78
4.4.2 Nombre de sujets à inclure . . . 78
4.4.2.1 Appariement avec des sujets sains . . . 80
4.4.3 Critères d'inclusion et de non-inclusion . . . 80
4.4.3.1 Inclusion . . . 80
4.4.4 Non-inclusion . . . 81
4.5 Considérations éthiques . . . 81
4.6 Données recueillies . . . 82
4.7 Déroulement . . . 83
4.7.1 Visite d'inclusion (J0) . . . 83
4.7.2 Visite d'expérimentation du scénario d'exposition ReVBED (J0 +7 jours à 1 mois) . . . 83
4.7.2.1 Tutoriel . . . 84
4.7.2.2 Environnement ReVBED . . . 84
4.7.2.3 Post-exposition . . . 84
4.8 Résultats . . . 85
4.8.1 Données démographiques des échantillons, caractéristiques cliniques et questionnaires psychométriques . . . 85
4.8.2 Questionnaires d'évaluation de l'immersion en RV . . . 89

4.8.3 Cotations subjectives de craving . . . 90
4.8.4 Cotations subjectives d'anxiété . . . 92
4.8.5 Données physiologiques . . . 93
4.8.5.1 Analyse de l'AED . . . 93
4.8.5.2 Analyse de la VFC . . . 98
4.8.6 Corrélation entre les scores de craving et d'anxiété . . . 102
4.8.7 Corrélation entre les différences de scores de craving/d'anxiété et les scores des questionnaires psychométriques . . . 102
4.8.8 Corrélation entre les différences de scores de craving/d'anxiété et les scores des questionnaires d'évaluation de l'immersion en RV . . . 103
4.8.9 Corrélation entre les différences de scores de craving/d'anxiété et les données physiologiques . . . 103
4.9 Discussion . . . 104
4.10 Limites . . . 105
4.11 Conclusion . . . 106

5 Etude sur l'influence de la qualité visuelle et du type d'aliment en RV sur l'envie de manger 107

5.1 Introduction . . . 109
5.1.1 Origine de l'étude . . . 109
5.1.2 Objectifs et hypothèses . . . 109
5.1.3 Enjeux et contributions . . . 110
5.2 Visuels 3D des aliments . . . 110
5.2.1 Critères de sélection . . . 111
5.2.2 Sélection des modèles de référence . . . 111
5.2.2.1 Bases d'images existantes . . . 111
5.2.2.2 Sélection préliminaire . . . 114
5.2.2.3 Sélection finale . . . 114
5.3 Créations et sélection des niveaux de qualité des aliments 3D . . . 116

5.3.1 Résolution du maillage . . . 116
5.3.2 Résolution de la carte de texture . . . 118
5.3.3 Évaluation et sélection des niveaux de qualité des aliments 3D . . . 119
5.4 Environnement RV . . . 123
5.4.1 Modélisation . . . 123
5.4.2 Aspects de l'environnement . . . 123
5.5 Choix du matériel . . . 125
5.5.1 PC . . . 125
5.5.2 Matériel RV . . . 125
5.6 Expérimentation . . . 128
5.6.1 Lieu d'expérimentation . . . 128
5.6.2 Participants . . . 128
5.6.3 Planification et gestion de l'expérimentation . . . 128
5.6.4 Critères d'évaluations . . . 130
5.6.4.1 Avant l'immersion en RV . . . 130
5.6.4.2 Pendant l'immersion en RR . . . 130
5.6.4.3 Après l'immersion en RV . . . 132
5.6.5 Procédure expérimentale . . . 132
5.7 Résultats . . . 134
5.7.1 Analyse du questionnaire de pré-exposition . . . 135
5.7.2 Effet général de la qualité visuelle et du type d'aliment 3D sur le désir de manger . . . 135
5.7.3 Envie de manger et qualité visuelle . . . 136
5.7.4 Envie de manger et type d'aliment . . . 140
5.7.5 Désir de manger et habitudes alimentaires . . . 140
5.8 Discussions . . . 143
5.9 Limites . . . 145
5.10 Conclusion . . . 146

6 Conclusion et Perspectives **147**

6.1 Conclusion 148

6.2 Perspectives 149

7 Liste des publications **151**

Références **152**

A Chapter **189**

Annexes **189**

A.1 Annexe 1 : Script du scénario de l'environnement ReVBED 191

A.2 Annexe 2 : Traduction française du "Bulimia Test" BULIT 196

A.3 Annexe 3 : Traduction française du EDI-2 201

A.4 Annexe 4 : Traduction française du DEBQ 207

A.5 Annexe 5 : Traduction française de la MAIA 211

A.6 Annexe 6 : Traduction française de l'UPPS 214

A.7 Annexe 7 : Traduction française de la DERS 218

A.8 Annexe 8 : Traduction française de l'YFAS 2.0 221

A.9 Annexe 9 : Traduction française de la FCQ-T-r 226

A.10 Annexe 10 : Traduction française du SSQ 229

A.11 Annexe 11 : Traduction française de l'IPQ 231

A.12 Annexe 12 : Résultats des tests appariées de Wilcoxon, entre les moyennes des scores de craving, pour chaque paire de pièce d'exposition pour les deux populations (patients et témoins) 234

A.13 Annexe 13 : Résultats des tests appariées de Wilcoxon, entre les moyennes des scores d'anxiété, pour chaque paire de pièce d'exposition pour les deux populations (patients et témoins) 235

A.14 Annexe 14 : Résultats des tests appariées de Wilcoxon, entre les moyennes des conductance cutanée mesurées, pour chaque paire de pièce d'exposition pour les deux populations (patients et témoins) 236

A.15 Annexe 15 : Résultats des tests appariées de Wilcoxon, entre les moyennes des puissances spectrales des HF de la VFC mesurée, pour chaque paire de pièce d'exposition pour les deux populations (patients et témoins) 237

A.16 Annexe 16 : Dénominations, formats d'origine, auteurs, liens et licences Sketchfab des 38 aliments 3D sélectionnés dans Sketchfab 238

A.17 Annexe 17 : Résultats de l'étude préliminaires de la classification des 38 visuels 3D d'aliments 241

A.18 Annexe 18 : Représentations des 70 modèles 3D finaux 243

A.19 Annexe 19 : Résultats des T-tests ou des comparaisons appariées de Wilcoxon entre les différents types d'aliment 3D. Les lignes en jaune correspondent à des comparaisons significatives (p-value$<$0.05). 248

A.20 Annexe 20 : Résultats des tests appariés de normalité de Shapiro-Wilk entre les différents niveaux de qualité des modèles 3D. Les lignes en jaune correspondent à une validation de l'hypothèse de normalité (p$>$0.05). 250

Table des figures

2.1 Schéma représentant l'influence réciproque des éléments cognitifs, physiologiques et comportementaux comme élément central sur lequel se base les TCC. Extrait de [242] 11

2.2 (a) Illustration des procédures mises en œuvre pour la création d'un avatar et pour induire l'illusion de l'incarnation d'un corps dans un environnement en RV. Extrait de [195] ; (b) Représentation d'un abdomen de participant touché avec un capteur de mouvement, ces derniers étant reproduits dans l'environnement en RV. Extrait de [133]. 16

2.3 (a) "*Pictures of the virtual reality scenarios*". Extrait de [87] et [190] ; (b) "*Picture of the virtual bedroom" and "Picture of the virtual bakery-café*". Extrait de [88] ; (c) Vues de visuels alimentaires 3D utilisés dans [174] . . . 20

2.4 Déroulement expérimental utilisé dans [108] et [248] : (A) L'utilisateur est exposé à un mur de briques blanches (neutral baseline). (B) L'utilisateur est exposé à de vrais cookies sans visuel virtuel. (C) L'utilisateur porte un casque RV, dans lequel est diffusé des visuels de cookies. (D) L'utilisateur est exposé à des cookies virtuels avec un odeur de chocolat diffusée en parallèle, tenant un controller pour interagir avec les cookies virtuels. 21

2.5 (a) et (b) Buffet virtuel utilisé dans [185] et [160] ; (c) Visuel de chocolat exposé dans [259]. Les visuels présents dans ces environnements sont issus d'une modélisation en CAO. 24

2.6 (a) Vue d'une cabine sensorielle virtuelle avec visualisation d'un croissant réalisé en photogrammétrie dans [274] ; (b) Scan en photogrammétrie de portions de riz utilisé pour la création de portion équivalentes de brocolis dans [53] ; (c) (e) Pâtisserie réelle vs représentation 3D réalisée en photogrammétrie dans [2] 25

3.1 Plan 2D de l'appartement représentant l'environnement en RV ReVBED . 33

3.2 Schéma du parcours scripté réalisé par le participant dans l'environnement ReVBED 35

3.3 Taxonomie des techniques de déplacement en réalité virtuelle d'après [56] . 37
3.4 (a) Vue d'ensemble du HTC™ VIVE PRO EYE, des contrôleurs HTC™ et des stations de base SteamVR™ 2.0 ; (b) Détail sur les fonctionnalités des contrôleurs HTC™. Extrait de [116]. 41
3.5 (a) Boîtier de liaison avec fixations au casque et batterie portable du VIVE™ WIRELESS KIT ; (b) Carte et Antenne Wigig du VIVE™ WIRELESS KIT. Extrait de [116]. 42
3.6 Bose Quiet Control 30 Wireless. Extrait de [30]. 43
3.7 Différence de rendu de luminosité dans le couloir principal de ReVBED suivant deux angles de vue différents 46
3.8 (a) : Vue d'ensemble du hall de l'immeuble ; (b) Vue de la façade d'entrée, avec le message d'excuse des voisins, la porte d'entrée principale et l'étagère à chaussures 48
3.9 Vue d'ensemble du couloir principal 49
3.10 (a) Vue d'ensemble de la chambre à coucher ; (b) Vue du bureau sur lequel sont disposés des documents ainsi qu'un écran affichant un compte en banque négatif ; (c) Vue du miroir ; (d) Vue de l'armoire avec les 3 tenues (1 : Tenue "conventionnelle", 2 : Tenue "chic", 3 : Tenue "décontractée") 52
3.11 (a) Vue d'ensemble de la chambre de l'adolescent ; (b) Vue de l'adolescent jouant à un jeu vidéo sur PC ; (c) Vue d'une boîte de cookie et de cookies sur le bureau de l'adolescent 54
3.12 (a) Vue d'ensemble du salon ; (b) Vue de la table basse avec les collations sucrées (1 : cookies, 2 : chocolat, 3 : gaufres, 4 : confiture avec tartines, 5 : café, 6 : petits gâteaux) ; (c) Vue de l'émissions culinaire 56
3.13 (a) Vue d'ensemble de la cuisine ; (b) Vue de la table avec les aliments prédisposés (1 : fromage, 2 : pain, 3 : cacahuètes, 4 : cola) ; (c) Four avec pizza ; (d) Vue du cellier ; (e) Vue d'ensemble du frigo ; (f) Vue des aliments mise à disposition pour l'apéritif dînatoire (1 : olives, 2 : saucisses snack, 3 : mini-wraps) 60

4.1 Représentation graphique des intervalles RR détectés à partir d'un signal ECG. Extrait de [54]. 75
4.2 Vue d'ensemble du matériel utilisé pour la mesure de la VFC : électrodes et câbles, boîtier Bluetooth, tablette avec ANS Analysis Professional® 76

4.3 Vue d'ensemble du matériel utilisé pour la mesure de l'AED : électrodes avec câble, boîtier Bluetooth 77

4.4 Représentation des scores de craving en fonction des pièces d'exposition. Les niveaux de significativité, calculés avec les tests de Wilcoxon appariés, sont indiqués entre les comparaisons de salles, pour le groupe de patientes et le groupe de témoins. Seule la première paire significative pour chaque salle dans l'ordre de l'exploration est affichée. Légende : <0,00001 '****', <0,001 '***', <0,01 '**' 91

4.5 Représentation des scores d'anxiété en fonction des pièces d'exposition. Les niveaux de significativité, calculés avec les tests de Wilcoxon appariés, sont indiqués entre les comparaisons de salles, pour le groupe de patients et le groupe de témoins. Seule la première paire significative pour chaque salle dans l'ordre de l'exploration est affichée. Légende : <0,01 '**' 92

4.6 Exemple de l'évolution de la conductance cutanée mesurée en fonction du temps, pour 2 patientes ((a) et (b)) et 2 témoins ((c) et (d)). 96

4.7 Distributions des moyennes de conductance cutanée normalisées en fonction des pièces d'exposition. Légende : <0,001 '***', <0,01 '**', <0.05 '*' . . . 97

4.8 Exemple de l'évolution de la puissance spectrale des HF (nerf parasympathique) mesurée en fonction du temps, pour 2 patientes ((a) et (b)) et 2 témoins ((c) et (d)). Les pics aberrants sont affichés en rouge et corrigés avec une interpolation du signal. 100

4.9 Distributions des moyennes de puissance spectrale des HF normalisées en fonction des pièces d'exposition 101

5.1 Pre-sélection des 38 modèles 3D d'aliment depuis Sketchfab avec liens de référence : **1** : mangue ; **2** : tortilla de maïs ; **3** : sushis ; **4** : friand à la saucisse ; **5** : biscuits apéritifs ; **6** : choux à la crème ; **7** : cerise ; **8** : Roulé à la cannelle ; **9** : côte de bœuf ; **10** : pêche ; **11** : Paris-Brest ; **12** : poire conférence ; **13** : nugget de poulet ; **14** : bol de céréales ; **15** : muffin ; **16** : gâteau tranché ; **17** : kiwi ; **18** : bagel ; **19** : poulet rôti ; **20** : plateau de fromage ; **21** : tranche de pastèque ; **22** : Kouign-Amann ; **23** : burger classique ; **24** : éclair à la crème ; **25** : miche de pain ; **26** : dessert à la pistache ; **27** : saucisson ; **28** : pomme ; **29** : tartelette aux framboises ; **30** : brioche tressée ; **31** : cookie ; **32** : banane ; **33** : donut ; **34** : pâtes ; **35** : bol de bonbons ; **36** : hotdog ; **37** : part de pizza ; **38** : pain au chocolat. 113

5.2 Visuels des 10 modèles de référence sélectionnés 115

5.3 Schéma présentant les deux composantes principales d'un objet 3D (maillage géométrique et carte de texture) 116
5.4 Caption : Détail sur la génération de 7 maillages simplifiés pour le modèle 3D de tartelette aux framboises (le nombre réel total généré pour ce modèle est de 41). 117
5.5 Détail sur la génération des 3 tailles de texture pour le modèle 3D de tartelette aux framboises 118
5.6 Création de modèles altérés et sélection des modèles finaux pour le modèle 3D de tartelette aux framboises. Les cercles rouges correspondent aux 7 stimuli sélectionnés, avec des qualités visuelles croissantes. Notez que, pour la lisibilité de la figure, le nombre de résolutions de maillage a été réduit. Pour ce modèle 3D, le nombre réel est de 41 (en comptant le maillage d'origine), ce qui donne un total de 164 modèles altérés. 122
5.7 Aperçu de l'environnement destiné à l'évaluation de l'envie de manger : (a) vue avant des stands ; (b) vue rapprochée du stand d'évaluation 124
5.8 Vue du Varjo XR3. Extrait de [255] 126
5.9 (a) Vue du contrôleur Valve Index Controller gauche ; (b) Vue du contrôleur Valve Index Controller droit tenu à la main par son strap 127
5.10 (a) Vue générale de la salle expérimentale multisensorielle ; (b) Point de vue extérieur du dispositif d'expérimentation 129
5.11 Première interface utilisateur 131
5.12 (a) Modèle 3D vu par un utilisateur ; (b) Seconde interface utilisateur, validée pour l'expérimentation 133
5.13 Distributions des scores de désir de manger par niveau de qualité visuelle. Les valeurs moyennes sont représentées par des cercles rouges 139
5.14 Groupes d'équivalence statistique au sein desquels aucune différence significative n'est observée. Les différences très significatives (p-value > 0.001) sont représentées par des lignes pleines, et les différences légèrement significatives (p-value > 0.05) sont représentées par des pointillés. 139
5.15 Distribution des scores de désir de manger par type d'aliment. Les valeurs moyennes sont représentées par des cercles rouges 140
5.16 Distribution des scores de désir de manger groupés par résultats du questionnaire sur les habitudes alimentaires. Les valeurs moyennes sont représentées par des cercles rouges 141

5.17 Évolution de la moyenne du score de désir de manger en fonction des résultats du questionnaire sur les habitudes alimentaires pour le niveau 7, le niveau 1 et la différence entre le niveau 7 et le niveau 1 142

5.18 Diagramme en nuage de mots des entretiens de retour d'expérience des participants 144

6.1 (a) Environnement en RV [204] contenant une interface représentant les paramètres physiologiques (VFC et AED) de utilisateur pendant l'exercice de relaxation ; (b) Interface de biofeedback [31] sous forme de cercle correspondant à un pic d'inspiration (à gauche) et d'expiration (à droite) 150

Liste des tableaux

2.1 Récapitulatif du protocole utilisé dans une méthode de TCC-A. Extrait de [206]. 17

3.1 Description des stimuli environnementaux et émotionnels dans les différentes pièces 34

4.1 Résultats des données cliniques des participantes et des tests de comparaisons entre le panel patient et témoin. Légende : <0,01 '**' 85

4.2 Résultats des données des questionnaires psychométriques relatifs au comportement alimentaire et des tests de comparaisons entre le panel patient et témoin. Légende : <0,00001 '****', <0,001 '***', <0,01 '**' 87

4.3 Résultats des données des questionnaires psychométriques relatifs à la régulation émotionnelle et comportementale et des tests de comparaisons entre le panel patient et témoin. Légende : <0,00001 '****', <0,001 '***', <0,01 '**' 88

4.4 Résultats des données des questionnaires d'évaluation de d'immersion en RV relatifs à la régulation émotionnelle et comportementale et des tests de comparaisons entre le panel patient et témoin. Légende : <0,01 '**', <0,05 '* 89

4.5 Résultats des tests de Mann-Whitney sur les scores de craving et d'anxiété entre les patients et les témoins, pour chaque pièce explorée. Légende : <0,001 '***', <0,01 '**', <0,05 '* 91

4.6 Résultats des tests de Mann-Whitney sur les moyennes mesurées de conductance cutanée entre les patienes et les témoins, pour chaque pièce explorée 98

4.7 Résultats des tests de Mann-Whitney sur les moyennes mesurées de puissance spectrale en HF entre les patientes et les témoins, pour chaque pièce explorée 102

5.1 Propriétés géométriques et cartes de texture des 10 modèles de référence sélectionnés 115

5.2 Caractéristiques géométriques et de textures des 70 modèles sélectionnés . 121

5.3 Résultats d'une ANOVA à deux facteurs, après un traitement avec la méthode ART, de la qualité visuelle, du type d'aliment 3D et de l'interaction de ces deux facteurs sur le désir de manger 135

5.4 Résultats des comparaisons appariées de Wilcoxon entre les différents niveaux de qualité des modèles 3D. Les lignes en jaune correspondent à des comparaisons significatives (p-value<0,05) 137

5.5 Résultats des tests de normalité de Shapiro-Wilk entre les différents niveaux de qualité des modèles 3D. Une p-value inférieure à 0,05 indique une violation de la normalité. 138

5.6 Comparaison par paires de DSCF des scores de désir de manger entre les habitudes alimentaires. Les lignes en jaune correspondent à des comparaisons significatives (p-value<0,05) 142

5.7 Résultats des comparaison appariées DSCF de la différence des scores de désir de manger du niveau 7 par rapport aux scores de désir de manger du niveau 1, entre les habitudes alimentaires. Les lignes en jaune correspondent à des comparaisons significatives (p-value < 0,05) 143

Liste des Abréviations

ACT Thérapie d'Acceptation et d'Engagement. 11

AED Activité ElectroDermale. 65

AN *Anorexia Nervosa*. 8

APA (Anglais) *American Psychiatric Association*. 7

ART (Anglais) *Aligned Rank Transform* [268]
. 135

BED (Anglais) *Binge Eating Disorders*. 30

BH (Anglais) *Benjamini and Hochberg* [correction] [20]
. 136

BN *Bulimia Nervosa*. 8

BULIT (Anglais) *Bulimia Test* [231]. 68

CAO Conception Assistée par Ordinateur. 23

CHU Centre Hospitalier Universitaire. 1

DEBQ (Anglais) *Dutch Eating Behavior Questionnaire* [237]
. 68

DERS (Anglais) *Difficulties in Emotion Regulation Scale* [102]
. 68

DSCF Dwass-Steel-Crichtlow-Fligner [correction] [22]
. 141

DSM (Anglais) *Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders*. 7

DSP Densité Spectrale de Puissance
. 76

ECG ÉlectroCardioGraphie
. 74

EDI-2 (Anglais) *Eating Disorders Inventory 2* [97]. 68

ENISE Ecole Nationale d'Ingénieurs de Saint-Etienne. 1

EVS Échelle Verbale Simple. 19

FCQ-T-r (Anglais) *Food Cravings Questionnaire-Trait reduced* [166] . 68

FFAB Fédération Française Anorexie Boulimie. 2

HDRP (Anglais) *High Definition Render Pipeline*. 45

HF (Anglais) High Frequency . 76

HF Nombre de Sujet Nécessaire . 78

IPQ (Anglais) *group Presence Questionnaire* [166] . 73

LF (Anglais) Low Frequency . 76

MAIA (Anglais) *Multidimensional Assessment of Interoceptive Awareness,* [162]. 68

NeRF (Anglais) *Neural Radiance Field*. 23

PLU (Anglais) *Physical Light Unit*. 46

RV Réalité Virtuelle. iv

SNS Stratégie Nationale de Santé. 2

SSQ (Anglais) *Simulator Sickness Questionnaire* [166] . 73

SVBRDF (Anglais) *Spatially-Varying Bidirectional Reflectance Distribution Function* correction [22] . 146

TCA Trouble du Comportement Alimentaire. 2

TCC-A Thérapies Cognitivo-Comportementale Améliorée. 5, 14

TCC Thérapie Cognitivo-Comportementale. 10

TEC-RV Thérapies d'Exposition Corporelle en RV. 5, 13

TES-RV Thérapies d'Exposition aux Signaux en RV. 5, 18

UPPS (Anglais) *Impulsive Behavior scale* [264]. 68

VFC Variabilité de la Fréquence Cardiaque. 65

VR (Anglais) *Virtual Reality*. vi

YFAS2.0 (Anglais) *Yale Food Addiction Scale 2.0* [98]. 68

nparLD (Anglais) Nonparametric Analysis of Longitudinal Data in Factorial Experiments [179]

. 90

Introduction

La première section définit le contexte de l'étude ainsi que les réflexions qui ont poussé Centrale Lyon *ENISE* ainsi que le *CHU* de Saint-Etienne à mener ce projet de recherche. La deuxième partie décrit les contributions apportées.

Sommaire

Contexte

Contributions

1.1 Contexte

Le présent projet de thèse s'inscrit au cœur des activités du pôle de Réalité Virtuelle (RV) de Centrale Lyon ENISE et vise à repousser les frontières de l'intervention thérapeutique dans le domaine des troubles du comportement alimentaire. Notre ambition est d'étudier en profondeur les caractéristiques fondamentales nécessaires au développement d'un environnement en réalité virtuelle dédié à l'étude et à la thérapie des troubles du comportement alimentaire.

Les troubles du comportement alimentaire, tels que l'anorexie mentale, la boulimie et les troubles de l'alimentation sélective, affectent un nombre croissant d'individus, représentant ainsi un enjeu majeur de santé publique. Ces pathologies engendrent des conséquences psychologiques, telles que des troubles de l'humeur, des troubles anxieux, des problèmes d'estime de soi et des comportements compulsifs ; mais aussi physiologiques (malnutrition, dérèglements métaboliques et affaiblissement du système immunitaire) et sociales significatives, nécessitant des approches thérapeutiques innovantes. Selon la Fédération Française Anorexie Boulimie (*FFAB*), un rapport datant de juin 2022 estimait à environ 1,3 % (900 000 personnes) le taux de la population française souffrant de Trouble du Comportement Alimentaire (*TCA*), dont 17 % avec un diagnostic de type restrictif ou hyperphagique [1].

La prévalence croissante des TCA ajoute aussi une dimension sociétale à cet enjeu de santé publique. Les coûts socio-économiques comprennent les dépenses de santé directes liées au traitement des TCA, mais également les pertes de productivité au travail et les coûts indirects associés aux soins à long terme. Ainsi, ces pathologies ont été désignées parmi les priorités dans l'accompagnement et la prévention par la Stratégie Nationale de Santé 2018-2022 (*SNS*) [2].

La réponse traditionnelle à ces troubles implique souvent des approches multidisciplinaires, combinant la psychiatrie, la psychologie, la nutrition et la motricité. Cependant, les défis persistent en raison de la stigmatisation sociale et de la complexité des troubles. De nombreux individus ne recherchant pas immédiatement de l'aide, soulignant le besoin d'explorer de nouvelles pistes thérapeutiques. Cependant, le potentiel de la RV dans le traitement des troubles du comportement alimentaire suscite également des questions cruciales, telles que l'efficacité réelle de la RV en tant qu'outil thérapeutique, ainsi que l'influence de la qualité visuelle des scènes présentées, qui doivent être rigoureusement évaluées. Ainsi,

1. https://www.journeemondialetca.fr/. Consulté le 16/02/2024.
2. https://www.ffab.fr/382-les-tca-une-des-priorites-du-projet-national-de-sante-2018-2022. Consulté le 16/02/2024

le fait que la RV soit prometteuse ne garantit pas automatiquement son succès et dépend inconditionnellement du contenu diffusé et de la façon dont l'utilisateur peut s'approprier et interagir avec ce contenu. Des investigations approfondies sont donc nécessaires pour déterminer dans quelle mesure la RV peut être intégrée de manière bénéfique dans les pratiques thérapeutiques existantes.

Ce projet de recherche repose sur une collaboration étroite entre le pôle de réalité virtuelle de Centrale Lyon ENISE et le corps médical du service de psychiatrie du CHU de Saint-Étienne, acteur central dans la prise en charge des patients souffrant de cette pathologie.

1.2 Contributions

Cette thèse vise à apporter des contributions à la compréhension des TCA en explorant le rôle de la réalité virtuelle dans l'induction du craving alimentaire, défini comme "une envie irrépressible de consommer une substance ou d'exécuter un comportement gratifiant alors qu'on ne le veut pas à ce moment-là" [12].

Le développement d'un environnement virtuel véritablement immersif pour l'induction du craving alimentaire s'avère être une étape cruciale. Actuellement, les études existantes dans ce domaine ne parviennent pas à offrir ou n'offrent pas une immersion complète. En ce qui concerne les stimuli, elles se sont concentrées sur l'exposition alimentaire basée sur des stimuli visuels et ont du mal à englober tous les stimuli complexes qui déclenchent les envies, en particulier les indices émotionnels souvent associés aux envies alimentaires et aux épisodes de boulimie. De plus, l'expression des envies alimentaires peut être influencée par des dimensions de la personnalité qui ne sont pas étudiées dans ces travaux. Les études précédentes n'ont généralement pas exploré ces dimensions ou même le style de comportement alimentaire. Plus globalement, les travaux en RV reliés aux troubles alimentaires ne se posent que très peu la question de la qualité visuelle des stimuli.

Les contributions de cette thèse sont :

— ***le développement d'un environnement en RV véritablement immersif pour l'induction du craving alimentaire***
Cette contribution implique la conception et la mise en œuvre d'un environnement virtuel immersif spécifiquement conçu pour induire efficacement le craving alimentaire chez les individus souffrant de TCA. L'accent est mis sur la création d'une expérience immersive, réaliste, semi-guidée, avec la présence de stimuli multimodaux afin de mieux représenter la complexité des déclencheurs de craving dans la

vie quotidienne des patients.

— ***l'évaluation de cet environnement au regard du craving et du stress qu'il engendre chez les participants***
Cette contribution comprend une évaluation approfondie de l'environnement virtuel nouvellement développé, en ce qui concerne son efficacité à induire le craving alimentaire ainsi que le niveau de stress qu'il peut générer chez les participants. À travers une étude clinique, nous examinerons les réactions des participants, en tenant compte de leur expérience subjective en terme de craving et de stress ressenti.

— ***l'étude des relations entre les caractéristiques intrinsèques des patients et le craving, les données physiologiques, la relation à la présence ou encore la cybercinétose potentiellement ressentie en RV***
Cette contribution implique une exploration approfondie des liens complexes entre les caractéristiques individuelles psychométriques des patients, les réponses physiologiques mesurées telles que la fréquence cardiaque et la conductance cutanée, ainsi que les évaluations de présence et de cybercinétose dans l'environnement en RV, et leur ressenti en terme de craving et de stress.

— ***l'étude de la relation entre l'envie de manger et la qualité visuelle des déclencheurs***
Une dimension essentielle de cette thèse explore la relation entre la sensation d'une envie de manger (et non le craving) induite par des déclencheurs en RV et la qualité visuelle de ces éléments, chez des personnes n'ayant pas de TCA diagnostiqué. Cette perspective contribue ainsi à une meilleure compréhension de la dynamique entre la qualité visuelle des éléments déclencheurs et l'envie de manger.

Etat de l'Art

Sommaire

Histoire des TCA et définition

2.1.1 Premières perspectives historiques 7

2.1.2 Les TCA et le DSM5 7

2.1.2.1 Anorexia Nervosa 8

2.1.2.2 Bulimia Nervosa 8

2.1.2.3 Hyperphagie Boulimique 9

Traitements des Troubles du Comportement Alimentaire

2.2.1 TCC 10

2.2.1.1 1ère vague 10

2.2.1.2 2ème vague 10

2.2.1.3 3ème vague 11

2.2.2 Limite actuelles des TCC traditionnelles 12

2.2.3 Les TCA et la RV 12

2.2.3.1 Historique 12

2.2.3.2 Les méthodes de traitement des TCA en RV 13

Les Thérapies d'Exposition Corporelle en RV (*TEC-RV*) . . 13

Les Thérapies Cognitivo-Comportementales Améliorées (*TCC-A*) 14

Les Thérapies d'Exposition aux Signaux en RV (*TES-RV*) . 18

2.2.3.3 Les limites des traitements des TCA en RV 22
Études sur les comportements liés à l'alimentation en RV
2.3.1 Méthodes de création de contenu 3D 23
2.3.2 Influence de l'environnement RV dans les applications alimentaires . 26
Conclusion

2.1 Histoire des TCA et définition

2.1.1 Premières perspectives historiques

Même si les TCA ont été définis récemment sous la forme que l'on connaît aujourd'hui, il serait faux de croire que ces pathologies n'existent que depuis l'époque contemporaine [188].

Dès l'Antiquité, Galien avait identifié un trouble comportemental qu'il avait appelé "*boulimia*" (signifiant "faim de bœuf") [93, 140]. Quant à l'anorexie, les premières mentions de ce qui peut être aujourd'hui considéré comme apparenté aux TCA sont les cas d'inanition attestés et générés par les doctrines religieuses présentes en Europe occidentale au Moyen-Âge, en particulier chrétienne : il était, par exemple, coutume d'une recherche de la spiritualité par un état de famine volontairement infligé chez des ermites [210]. A cette même période, cette pratique, aussi répandue chez les femmes, était parfois nommée *Anorexia mirabilis* [90]. Par la suite, d'autres termes ont pu être utilisés (ex : *fasting girls*), mais tous relevaient d'un caractère religieux ou mystique. Ce n'est qu'à partir de la Renaissance, et surtout à partir du XVIII^{ème} siècle que des explications d'abord matérielles puis médicales se sont affirmées. En particulier, l'image corporelle idéale est devenue un sujet de préoccupation majeure, les normes passant peu à peu d'une silhouette arrondie à une apparence élancée et fine [188].

2.1.2 Les TCA et le DSM5

Cette section traite de l'évolution de la reconnaissance et de la définition des troubles du comportement alimentaire principaux tels qu'établis dans la 5ème version du Manuel diagnostique et statistique des troubles mentaux, et des troubles psychiatriques (en anglais : Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders (*DSM*-5)) [10], ouvrage de référence dans la nomenclature des troubles psychiques de l'Association Américaine de Psychiatrie (American Psychiatric Association) (*APA*), à savoir :

— *Anorexia Nervosa*
— *Bulimia Nervosa*
— Hyperphagie Boulimique

Les autres troubles du comportement alimentaire reconnus (pica, mérycisme, trouble de restriction ou évitement de l'ingestion des aliments, ainsi que les autres troubles spécifiés ou non) ne seront pas traités dans cette partie et ne font pas partie de l'objet d'étude de cette thèse.

2.1.2.1 Anorexia Nervosa

L'étude de *Anorexia Nervosa* (*AN*) fait l'objet de plusieurs cas d'études, dont les premières mentions remontent à la fin du XVIIème siècle dans l'ouvrage intitulé *Phthisiologia : Or, A Treatise of Consumptions*. Néanmoins, les premiers travaux notables remontent à 1873 d'après l'article "*Anorexia Nervosa (Apepsia Hysterica, Anorexia Hysterica)*" de Sir William Gull's [168] mettant en évidence pour la première fois la description d'un cas d'anorexie mentale. L'émergence et le regroupement des concepts modernes caractérisant l'AN au tournant des années 1960-1970 vont permettre de définir l'AN telle que reconnue aujourd'hui, dans la 3ème version du DSM [234] à la 5ème version [10].

L'AN est un trouble complexe du comportement alimentaire caractérisé par une restriction alimentaire sévère liée à une angoisse importante et permanente à l'égard du poids et de la forme corporelle. Les critères diagnostiques actuels de l'AN, tels qu'établis dans le DSM-5 [10] incluent deux sous-types principaux :

— restrictif (Restricting type) : les individus présentant le sous-type restrictif de l'AN s'engagent dans une restriction alimentaire significative et n'ont généralement pas de comportements de purge tels que le vomissement ou l'utilisation excessive de laxatifs. Ils maintiennent un apport calorique insuffisant pour répondre à leurs besoins physiologiques ;
— compulsif ou purgatif (Purging type) : ce sous-type d'AN implique des épisodes de consommation excessive suivis de comportements de purge tels que le vomissement ou l'utilisation de laxatifs. Les personnes atteintes d'AN de type compulsif éprouvent également une préoccupation obsessionnelle à l'égard de leur poids et de leur silhouette.

2.1.2.2 Bulimia Nervosa

La Boulimia Nervosa (*BN*) est un autre trouble du comportement alimentaire qui a été identifié comme un trouble distinct dans les années 1970, principalement grâce aux travaux de Gerald Russell et de ses collègues. L'article intitulé "Bulimia nervosa : An ominous variant of anorexia nervosa" [216] a été un pilier dans la reconnaissance officielle de cette maladie et sa distinction de l'AN qui opéra quelques années plus tard, bien qu'elle fût décrite à la base comme une "variante" de l'AN [182].

La BN est caractérisée par des épisodes récurrents de consommation alimentaire excessive, suivis de comportements de purge pour contrôler le poids corporel. Le DSM-5 [10] recense les critères diagnostiques suivants :

— épisodes de consommation excessive : les personnes atteintes de BN se livrent régulièrement à des épisodes de consommation excessive au cours desquels elles ingèrent de grandes quantités de nourriture en un laps de temps limité, généralement suivi d'un sentiment de perte de contrôle ;
— comportements purgatoires : les individus atteints de BN utilisent des comportements de purge pour compenser les calories consommées pendant les épisodes de consommation excessive. Cela peut inclure le vomissement provoqué, l'utilisation de laxatifs, l'exercice excessif ou d'autres méthodes pour éviter la prise de poids ;
— préoccupation excessive à l'égard du poids et de la forme : comme pour l'AN, la BN s'accompagne d'une préoccupation intense concernant le poids corporel et la forme. Les personnes atteintes de BN ont souvent une image corporelle négative et cherchent activement à perdre du poids.

2.1.2.3 Hyperphagie Boulimique

A contrario des 2 premières variantes des TCA susmentionnées, l'hyperphagie boulimique a un historique bien plus bref. Son diagnostic tardif peut s'expliquer par l'attention davantage portée sur les symptômes de AN et BN, et la pensée réticente des années 1970-1980 ne voulant pas associer des troubles psychiques à l'obésité [39].

L'hyperphagie boulimique est un trouble du comportement alimentaire caractérisé par des épisodes de consommation excessive récurrents. Comme la BN, les individus atteints d'hyperphagie boulimique se livrent à des épisodes de consommation excessive au cours desquels ils consomment de grandes quantités de nourriture en un temps limité, accompagnés d'un sentiment de perte de contrôle. Cependant :

— les épisodes de consommation excessive sont plus fréquents et plus périodiques que chez les personnes atteintes de BN ;
— contrairement à la BN, l'hyperphagie boulimique ne s'accompagne pas de comportements de purge tels que le vomissement ou l'utilisation excessive de laxatifs.

L'hyperphagie boulimique peut entraîner une prise de poids significative et est associée à des conséquences sur la santé telles que l'obésité, le diabète de type 2 et les problèmes cardio-vasculaires.

2.2 Traitements des Troubles du Comportement Alimentaire

En lien avec les technologies de RV, nous nous sommes axés volontairement sur l'état de l'art des Thérapies Cognitivo-Comportementale (*TCC*) appliquées aux TCA. Toutefois, il convient d'indiquer que le traitement des TCA actuel ne se résume pas uniquement aux TCC : les prises en charge sont intégratives, c'est-à-dire basées sur des interventions multiples, avec une inclusion du patient et de ses propres représentations de soin dans la prise en charge globale de sa santé [16].

2.2.1 TCC

2.2.1.1 1ère vague

Si les premières véritables mentions des troubles du comportement alimentaire ont émergé au début du XX^{e} siècle, la compréhension de ces troubles était limitée à cette époque. On en savait peu sur les causes et les traitements. Des méthodes comme le béhaviorisme [154] (qui considère le comportement comme étant le résultat d'un stimulus-réponse) étaient déjà connues, mais peu diffusées pour être utilisées dans les cliniques dédiées.

A partir du début des années 1980, l'émergence de la psychothérapie, notamment la TCC, a marqué un tournant dans le traitement des troubles du comportement alimentaire. Elle fut, entre autres, initiée par Christopher Fairburn en 1981, qui a joué un rôle clé dans le développement de la TCC pour la boulimie et l'anorexie [81]. Ses recherches ont permis l'aboutissement d'un manuel [80] largement reconnu et utilisé par les cliniciens et comme base de recherche. Par la suite, les thérapeutes ont commencé à reconnaître que la TCC pouvait être utile pour aider les patients anorexiques à remettre en question leurs idées préconçues sur la nourriture, le poids et la forme corporelle [257]. En parallèle, les approches de traitement ont évolué pour devenir plus holistiques, intégrant des composantes familiales et nutritionnelles. Le modèle Maudsley [149], par exemple, s'est développé au Royaume-Uni, impliquant la famille dans le traitement des adolescents souffrant d'AN, la famille du patient étant engagée dans son processus de guérison.

2.2.1.2 2ème vague

La deuxième vague, amorcée en même que la première mais, dont l'influence sera plus tardive, introduit l'approche cognitive, et l'importance qu'ont les représentations que se

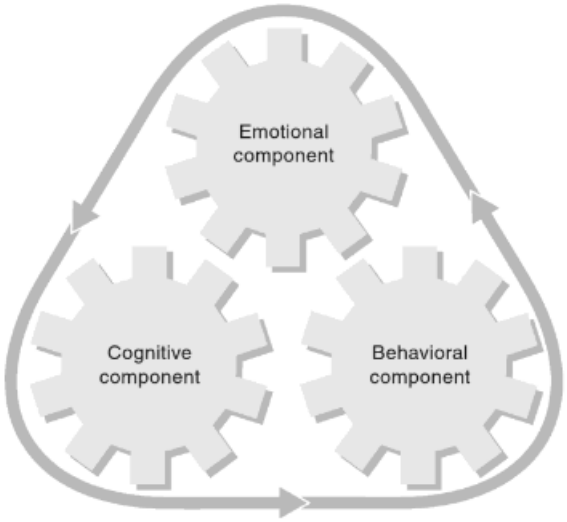


FIGURE 2.1 – Schéma représentant l'influence réciproque des éléments cognitifs, physiologiques et comportementaux comme élément central sur lequel se base les TCC. Extrait de [242]

.

fait un individu en fonction de ce qu'il perçoit et de ce qu'il conçoit. Ses pensées ont un impact et conditionnent les comportements. En retour, les comportements provoquent des émotions, et ces dernières influent les cognitions (voir Fig. 2.1). Cette conception circulaire et interdépendante est au coeur des stratégies dans les TCC encore aujourd'hui. Elle a été introduite, entre autre, par les travaux d'Aaron en 1979 [19].

2.2.1.3 3ème vague

Au fil du temps, les TCC ont évolué pour inclure des éléments de la troisième vague. Ces approches ont mis davantage l'accent sur les interventions axées sur la pleine conscience. Cette méthode vise à amener les individus à être pleinement conscients de leurs pensées, émotions et sensations, sans jugement, avec une focalisation sur le moment présent [223]. La Thérapie d'Acceptation et d'Engagement (*ACT*) est au coeur de cette évolution. Elle est l'une des approches les plus influentes de la troisième vague de TCC, mettant l'accent sur la clarification des valeurs personnelles. Elle intègre des techniques de pleine conscience, d'acceptation, et d'engagement [109].

Aujourd'hui, les TCC sont considérées comme un choix de première classe en ce qui

concerne les traitements des TCA, et plusieurs instituts mettent en valeur cette recommandation, en particulier pour le BN et l'hyperphagie boulimique ([130, 67, 111, 267, 200]).

2.2.2 Limite actuelles des TCC traditionnelles

Bien que les TCC traditionnelles demeurent la référence pour le traitement de BN et de l'hyperphagie boulimique, des limites subsistent à ces méthodes. Premièrement, il est observé qu'un nombre considérable de patients y répondent de manière insuffisante, voire pas du tout : les études de Poulsens et coll. [196], Fairburn et coll. [83], Wonderlich et coll. [270] et Linardon et coll.[146], montrent que le taux d'efficacité de ces méthodes varie entre 22,5 % à 54 % et que les bénéfices s'estompent souvent dès les six premiers mois suivant le traitement. Ces limitations résultent en partie de la difficulté à induire le craving alimentaire dans le cadre d'une thérapie standard, et Linardon et coll. [146] concluent que les processus de TCC standard ne peuvent être adaptés et efficaces sur un panel de populations présentant des variations démographiques ou psychopathologiques trop importantes.

Par ailleurs, les stimuli d'induction simples utilisés dans les TCC traditionnelles appréhen--dent de manière insuffisante la complexité du craving alimentaire, et leur transposition à la vie quotidienne des patients s'avère limitée [137]. Le craving alimentaire, étroitement lié à l'anxiété générée par ses déclencheurs, est aussi influencé par de nombreux stimuli difficiles à reproduire en thérapie, tels que les dimensions sensorielles (vue, goût, odorat) [235], l'état émotionnel [201], le contexte psychosocial au moment du craving, la présence d'autres personnes [189, 191, 112], l'état physique général ou les efforts physiques récents [236, 263], les perturbations hormonales (par exemple, en cas de grossesse ou de diabète) [180]. L'utilisation de la RV comme outil permettant la reproduction de ces stimuli apparaît comme une solution prometteuse.

2.2.3 Les TCA et la RV

2.2.3.1 Historique

L'histoire des TCA en RV est directement liée à l'évolution des traitements en RV en général. Les avancées dans ce domaine ont été guidées par la compréhension croissante des besoins spécifiques des patients souffrant de TCA.

Les traitements en RV ont d'abord opéré sur des principes fondamentaux des phobies au cours des années 90, ce qui a donné naissance au concept de Thérapies d'Exposition

(TE), caractérisées par l'exposition volontaire d'un stimulus provoquant la phobie en environnement immersif. Citons les travaux de Barbara Olasov Rothbaum de 1995 [28], qui furent les premiers à témoigner d'une réelle efficacité des TE en RV (ici, pour l'acrophobie) avec une étude à grande échelle [156]. Par la suite, ce concept s'est étendu à d'autres troubles d'ordre anxieux [17] et plus largement à des troubles psychiatriques de natures diverses. Parmi eux, les addictions alimentaires, avec différentes stratégies.

2.2.3.2 Les méthodes de traitement des TCA en RV

Les recherches menées depuis les années 2000 ont largement exploré les méthodes de traitement en RV pour les troubles du comportement alimentaire (TCA). Ces travaux ont abouti à la confirmation de l'efficacité de ces traitements, comme en témoignent plusieurs revues de la littérature. Les études de Ciążyńska et Maciaszek [58], Garcia et coll. [86], Clus et coll. [60], So et coll. [232] et Riva et coll. [208] convergent toutes vers la reconnaissance de la RV comme un outil efficace pour la prise en charge des TCA. Ces revues distinguent et séparent les thérapies en plusieurs catégories suivant le contenu, le processus induit, mais surtout la stratégie opérationnelle choisie comme traitement. Ces méthodes sont décrites dans les paragraphes suivants.

De plus, l'utilisation de stimuli alimentaires en RV s'est avérée plus efficace que les images statiques pour susciter des réponses émotionnelles [101], aussi efficace que les images de stimuli réels (bien que l'étude de Ledeoux et coll. [142] affirme le contraire), et, dans certains cas, même plus puissante [259].

Les Thérapies d'Exposition Corporelle en RV (*TEC-RV*)

Les TEC-RV sont basées sur la thérapie d'exposition corporelle classique qui peut intervenir comme complément efficace aux TCC [195, 203, 172]. Le but réside ici dans l'exposition et la modification d'un corps incarné par l'utilisateur souffrant en général de dysmorphophobie, pour effectuer avec ce dernier un travail sur la représentation même de ce corps et de son appréciation par l'utilisateur. Les recherches pionnières en la matière furent les travaux de Riva et coll. [209] dans le cadre du projet européen VREPAR PROJECT (Virtual Reality Environments for the Psychoneurophysiological Assessment and Rehabilitation Project) [86], ayant abouti à la création du VEBIM (Virtual Environment for Body Image Modification). Dans les années 2000, Perpiñá et coll. [184] réalisent un programme cognitivo-comportemental suivi d'une application en RV pour les altérations de l'image corporelle chez une personne souffrant d'AN. Les résultats attestent d'une

amélioration de l'image corporelle, mais aussi de l'alimentation. Les TEC-RV développées depuis se concentrent sur l'exposition du participant face à un miroir avec un avatar modifié, le plus souvent au niveau de l'Indice de Masse Corporel (IMC) ressenti, avec pour but de combattre la peur de prise de poids *via* des demandes sur l'appréciation du participant face à l'observation de son corps. Ainsi, dans l'étude de Porras-Garcia et coll. de 2020 [195], le participant disposait d'un casque de RV, de deux controllers ainsi que de trois capteurs permettant le tracking de son propre corps. Une procédure de calibration permettait à l'utilisateur de reproduire les mouvements réels de l'utilisateur sur un avatar au préalable créé dans l'environnement, et qui était visualisé par l'intermédiaire d'un miroir dans l'environnement en RV. Après la création de l'avatar, l'étude thérapeutique visait à modifier artificiellement les morphologies de celui-ci, reflétant ainsi des variations de l'IMC. Pendant cette manipulation, les participants étaient guidés pour se concentrer successivement sur différentes parties de leurs corps. L'objectif était d'aider les participants à réévaluer leur morphologie corporelle de manière plus précise, tout en réduisant leur anxiété, leur obsession pour la minceur et leur insatisfaction corporelle, comme illustré dans la Fig. 2.2a. De façon similaire, l'étude de Keizer et coll. de 2016 [133] se concentre sur la réappropriation visuo-tactile du corps des participants ayant une mauvaise estimation de leur taille corporelle : pendant que l'utilisateur incarne un avatar dans un environnement en RV, l'abdomen de ce dernier est frotté avec un brosse, qui peut, selon les conditions (dites synchrones ou asynchrones), reproduire les mouvements effectués dans l'environnement en RV, et ce, dans un but d'amélioration de l'estimation de la taille corporelle (voir Fig. 2.2b)

La RV se démarque par la possibilité d'afficher des avatars de plus en plus réalistes [169], mais également par la possibilité de réaliser des illusions corporelles [208] (comme ce fût le cas pour les recherches de Botvinick et Cohen [33]). Cette méthode a fait ses preuves tant sur les personnes atteintes d'AN ou de BN [172, 203, 194, 133, 195, 224], que chez les personnes ayant une mauvaise appréciation corporelle [113, 134, 125, 144, 157].

Les Thérapies Cognitivo-Comportementales Améliorées (*TCC-A*)

Les Thérapies Cognitivo-Comportementales Améliorées (TCC-A) se définissent comme la combinaison entre les TCC classiques, avec comme cible nouvelle les processus qui entretiennent la psychopathologie des troubles de l'alimentation [69, 63]. Fairburn et coll. [83] se basent sur des traits psychologiques de la personne qui renforcent la maladie :

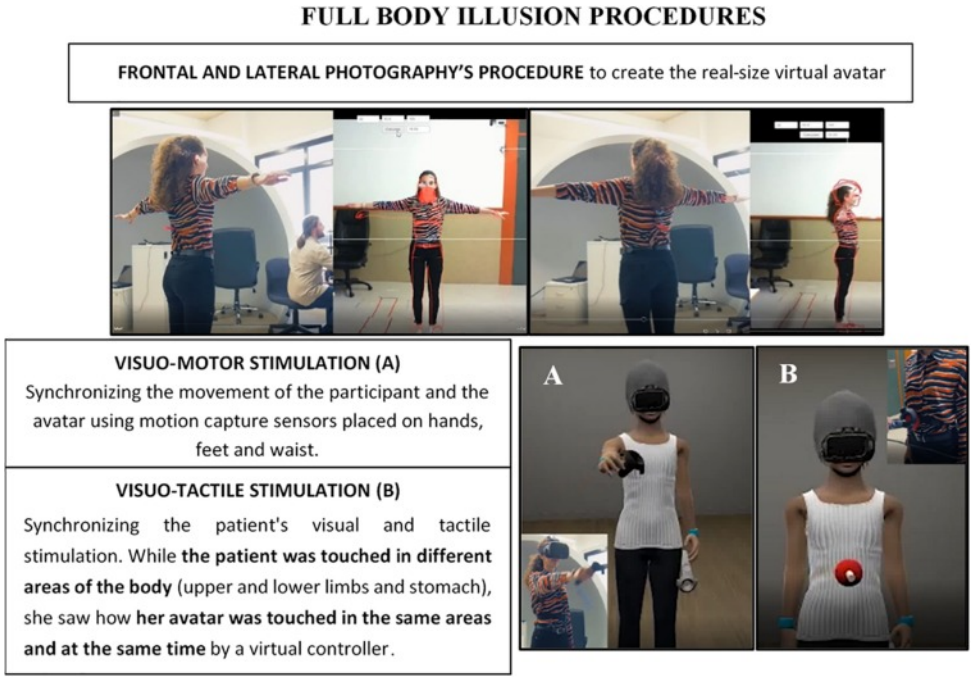
— la recherche du perfectionnisme comme une exigence extrême d'atteindre les normes sociales ou désirées des autres ([226]) ;
— les états d'humeur défavorables ([40]) ;

— la faible estime de soi ([79]) ;
— les difficultés interpersonnelles ([1]).

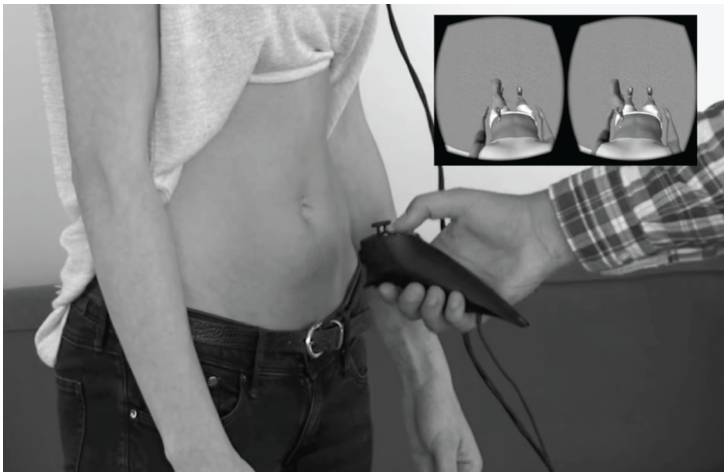
Les TCC-A en RV sont généralement divisées en plusieurs phases [207, 205, 50, 254, 155], sous des temporalités qui peuvent être parfois de plusieurs mois. Ainsi, l'étude de Riva et coll. datant de 2000 [207] a utilisé le VREDIM (Virtual Reality for Eating Disorders Modification), un environnement immersif composé de plusieurs pièces. Le choix des pièces dépendait d'un processus qui incluait au préalable une première entrevue sur une recherche de stimuli susceptibles de provoquer un comportement alimentaire anormal. La thérapie se déroule en plusieurs sessions, impliquant l'exploration d'environnements virtuels avec des aliments et des boissons, des interactions avec des objets virtuels pour enregistrer l'apport calorique, l'évaluation de l'image corporelle à travers des échelles virtuelles, l'analyse des liens entre le travail et les troubles alimentaires, et l'exposition à des stimuli visuels et à son propre corps dans un miroir virtuel pour explorer les émotions et croyances associées. Un processus similaire a également été utilisé dans l'étude de Manzoni et coll. [155].

En 2011, Riva [206] a identifié un processus qui implique une entrevue pour évaluer la perception de l'image corporelle. Cette entrevue est suivie par la reconstitution des événements affectant l'appréciation du corps dans un environnement en RV à la première personne. Dans cet environnement, les participants expriment leurs émotions, discutent de leurs sentiments et réfléchissent à leur intention de changement. Ensuite, ils passent à une phase de réévaluation cognitive, durant laquelle ils se visualisent parfois à la troisième personne *via* leur avatar virtuel, afin d'opérer une réévaluation de la situation d'un point de vue extérieur. Cette méthode, décrite dans le Tab. 2.1, a par la suite été également utilisée dans les études de Cesa et coll. [50] et Varallo et coll. [254].

Les revues sur les TCC-A en RV menées par Sara E. Groff [104], Jong et coll. [129], Atwood et Friedman[11] et Dahlenburg et coll. [68] attestent toutes de l'utilité et de l'efficacité de ces méthodes, en particulier pour la reprise du poids et l'augmentation de l'IMC en ce qui concerne les personnes atteintes d'AN [46, 84, 47, 76, 273, 228, 78, 70], mais aussi pour d'autres aspects pour les personnes atteintes de BN ou d'Hyperphagie Boulimique [46, 84, 82, 196, 241].



(a)



(b)

FIGURE 2.2 – (a) Illustration des procédures mises en œuvre pour la création d'un avatar et pour induire l'illusion de l'incarnation d'un corps dans un environnement en RV. Extrait de [195] ; (b) Représentation d'un abdomen de participant touché avec un capteur de mouvement, ces derniers étant reproduits dans l'environnement en RV. Extrait de [133].

TABLE 2.1 – Récapitulatif du protocole utilisé dans une méthode de TCC-A. Extrait de [206].

Phase 1 : Interview	During a clinical interview, the patient is asked to relive the contents of the negative body image and the situation/s in which it was created and/or reinforced (eg, "being teased by my boyfriend at home") in as much detail as possible. The meaning of the experience for the patient was also elicited.
Phase 2 : Development of the VR scene	The clinician reproduces the setting of the identified situation (eg,"the corridor of the classroom where my boyfriend teased me") using one of the different scenes available in the free NeuroVR software.
Phase 3 : Egocentric experience of the VR scene	The patient is asked to re-experience the event in VR from a first-person perspective (the patient does not see his/her body in the scene) expressing and discussing his/her feelings. The patient is then asked what was needed to happen to change the feelings in a positive direction. The main cognitive techniques used in this phase, if needed, are : -Countering : once a list of distorted perceptions and cognitions is developed, the process of countering these thoughts and beliefs begins. -Label Shifting : the patient first tries to identify the kinds of negative words she uses to interpret situations in her life, such as bad, terrible, obese, inferior, and hateful. The situations in which these labels are used are then listed. The patient and therapist replace each emotional label with two or more descriptive words. 

Phase 4 : Allocentric experience of the VR scene	The patient is asked to re-experience the event in VR from a third-person perspective (the patient sees his/her body in the scene) intervening both to calm and reassure his/her virtual avatar and to counter any negative evaluation. The therapist follows the Socratic approach, for example, "What would need to happen for you to feel better ? How does it look through the eyes of a third person ? Is there anything you as a third person would like to do ? How do the other people respond ?" The main cognitive techniques used in this phase, if needed, are : -Alternative Interpretation : the patient learns to stop and consider other interpretations of a situation before proceeding to the decision-making stage. -Deactivating the Illness Belief : the therapist first helps the client list his/her beliefs concerning weight and eating 

Les Thérapies d'Exposition aux Signaux en RV (*TES-RV*)

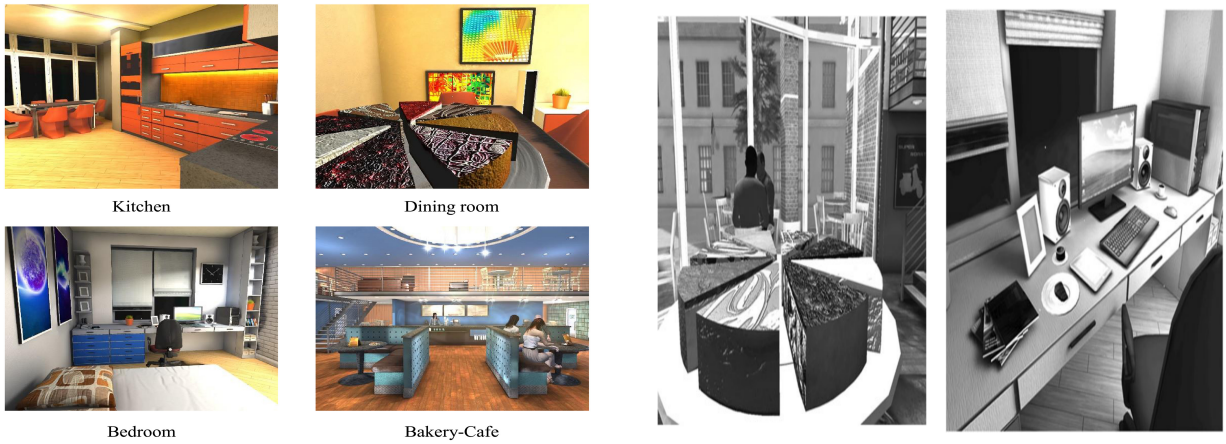
Enfin, les Thérapies d'Exposition aux Signaux en RV (TES-RV) sont basées sur l'exposition d'éléments identifiés comme étant déclencheurs d'une réponse émotionnelle et sur la réponse face à l'émotion ressentie [88, 137]. Ce concept a été introduit par Jansen [124]. La consommation alimentaire peut être vus comme un stimulus absolu, c'est-à-dire qu'il

suscite de façon constante la réaction émotionnelle, indépendamment de tout conditionnement ou apprentissage [123]. En revanche, les signaux qui indiquent de manière fiable la prise alimentaire, tels que ceux visuels, olfactifs, gustatifs, voire le contexte dans lequel on mange, peuvent fonctionner comme des stimuli conditionnés (qui déclenchent une réaction après avoir été associés de manière répétée à un stimulus absolu) susceptibles la réponse émotionnelle. Selon ce modèle, la présence de ces signaux conditionnés provoque des réponses physiologiques et émotionnelles qui peuvent se traduire par des épisodes de craving alimentaire [269, 32]. Le rôle des TES-RV est donc de déconstruire le lien supposé entre les signaux et les réponses face à ces signaux [38] *via* une désensibilisation du patient sur l'association automatique entre ces stimuli et la réponse émotionnelle afin d'améliorer le contrôle sur les comportements alimentaires.

Les environnements virtuels utilisés dans ces études sont principalement constitués des stimuli alimentaires présents dans des lieux de consommations habituels. Les études de Ferrer-García et coll. de 2017 et 2019, et de Pla-Sanjuanelo et coll. de 2017 [88, 87, 190], ainsi que l'étude de Nameth et coll. de 2021 [174] utilisent des combinaisons d'environnements/stimuli alimentaires choisis en fonction de leur caractère anxiogène pour l'utilisateur dans le but de déconstruire le lien supposé entre les aliments visualisés et la réponse émotionnelle. Pla-Sanjuanelo et coll. [190] soulignent la capacité des environnements de RV à provoquer des épisodes de craving alimentaires et de l'anxiété chez des personnes atteintes de BN ou d'hyperphagie boulimique. Les environnements, dont une représentation est visible sur les Fig. 2.3a, 2.3b et 2.3c, sont présentés soit *via* un environnement non-immersif utilisant des lunettes polarisées [88, 87, 190] soit *via* un casque de RV [174], toujours dans le but d'évaluer le craving ou l'anxiété avec une Echelle Verbale Simple (*EVS*). Cette approche personnalisée renforce l'efficacité des interventions en adressant spécifiquement les déclencheurs individuels liés à l'anxiété alimentaire. Ces méthodes ont été démontrées comme plus efficaces par rapport aux TCC classique (en particulier après une phase initiale de TCC structurée) en ce qui concerne la réduction des épisodes de craving et l'évaluation de certaines dimensions comportementales comme l'anxiété [88, 87, 208, 150, 174, 190].

Toujours dans le cadres des TCC en RV, le renforcement de l'immersion en environnement peut être accru par l'utilisation des stimuli autres que visuels. La perception de la saveur est effectivement décrite provenant de plusieurs stimulations issues de différents sens, y compris olfactif et gustatif [183, 266, 197]. L'utilisation d'éléments olfactifs, comme étudié par Tomasi et coll. [243] (utilisation d'un dispositif odorant appelé OVR Technology en complément du casque RV), Harris et coll. [108] et Tuanquin et coll. [248] (manipulation d'un cookie virtuel avec diffusion d'odeur en parallèle par l'intermédiaire d'un diffuseur conçu à cette occasion, voir Fig. 2.4), vise à intégrer des stimuli olfactifs pertinents pour renforcer l'aspect réaliste des environnements virtuels. Ces études concluent toutes sur l'ef-

ficacité de ces dispositifs dans le renforcement de l'intensité du craving induit [108]. La sollicitation du goût est plus rare, mais elle a déjà été investiguée, notamment par Weidner et coll. [262], qui indiquent que l'ajout de stimuli multisensoriels peut amener à des incongruences et peut être difficile à reproduire avec des saveurs complexes.



(a) (b)

(c)

FIGURE 2.3 – (a) "*Pictures of the virtual reality scenarios*". Extrait de [87] et [190] ; (b) "*Picture of the virtual bedroom" and "Picture of the virtual bakery-café*". Extrait de [88] ; (c) Vues de visuels alimentaires 3D utilisés dans [174]

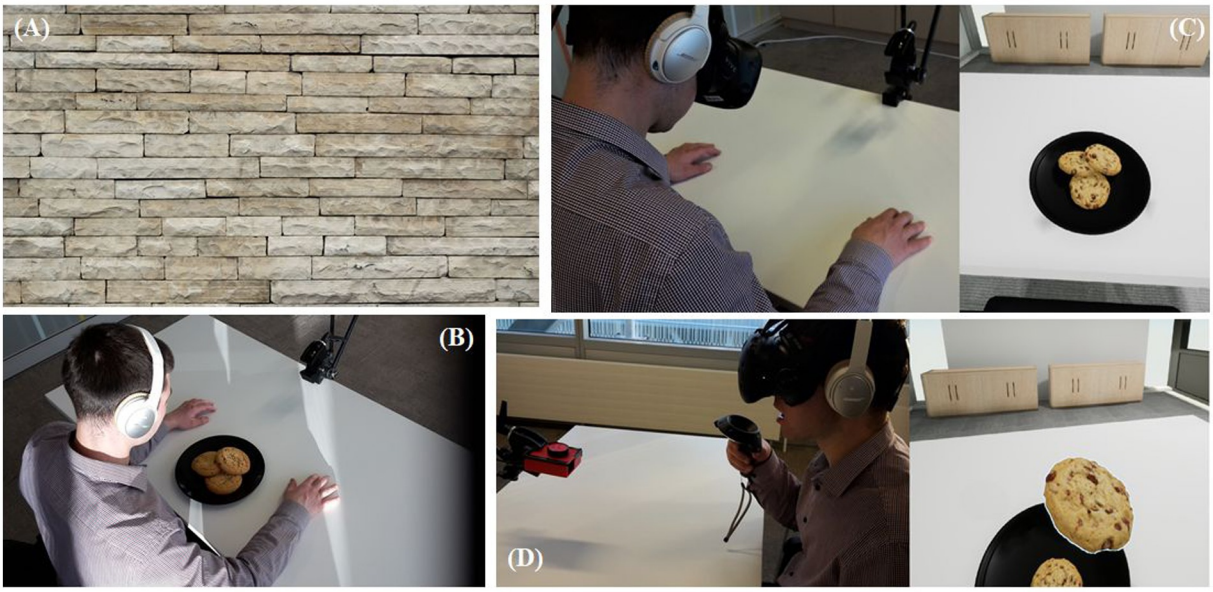


FIGURE 2.4 – Déroulement expérimental utilisé dans [108] et [248] : (A) L'utilisateur est exposé à un mur de briques blanches (neutral baseline). (B) L'utilisateur est exposé à de vrais cookies sans visuel virtuel. (C) L'utilisateur porte un casque RV, dans lequel est diffusé des visuels de cookies. (D) L'utilisateur est exposé à des cookies virtuels avec un odeur de chocolat diffusée en parallèle, tenant un controller pour interagir avec les cookies virtuels.

Enfin, l'utilisation de méthodes de biofeedback permettant d'apporter aux patients une rétroaction visuelle ou auditive basée sur des réponses physiologiques [215], est aussi prometteuse. Les revue d'Imperatori et coll. [119] et de Schoenberg et David [219] répertorient ainsi des études ayant utilisé des mesures d'activité électrodermale [193, 239], électromyographique [18], de variabilité de la fréquence cardiaque [165, 222] ou d'activité respiratoire diaphragmatique [107] à destination, entre autres, des TCA. L'évaluation psychologique en RV à travers des mesures physiologiques, a par ailleurs déjà été vérifiée. L'étude de Shin et coll. [227] a démontré l'efficacité d'une application en RV pour les troubles paniques, avec des améliorations significatives dans la variabilité du rythme cardiaque ; l'étude de Liszio et coll. [147] a montré que l'immersion interactive dans un environnement virtuel naturel (notamment à travers des jeux) induit une relaxation accrue et un affect positif, avec notamment des mesures physiologiques de variabilité du rythme cardiaque ; la revue systématique de Gaertner et coll. [92] met en lumière un effet physiologique significatif d'une intervention de relaxation virtuelle sur la variabilité du rythme cardiaque.

2.2.3.3 Les limites des traitements des TCA en RV

Pour autant, les recherches actuelles sur les études de thérapies en RV à destination des TCA présentent certaines limites. Les revues de So et coll. [232] ainsi que de Ciążyńska et Maciaszek [58] expliquent que les thérapies TES-RV se concentrent principalement sur les interventions liées à l'exposition alimentaire. Les envies alimentaires sont influencées par de nombreux stimuli souvent difficiles à aborder en thérapie classique. Ces stimuli englobent tous les aspects sensoriels tels que la vue, le goût et l'odeur, ainsi que l'état émotionnel individuel, l'environnement psychosocial lors de l'épisode de craving (y compris la présence d'autres personnes), l'état physique général, l'exercice physique récent et les déséquilibres hormonaux (par exemple, pendant la grossesse ou dans le cas du diabète) [263, 189].

De façon plus général, Nivière et coll. [178] mentionnent que la littérature sur la RV dans les TCA présente des difficultés de comparaison et de reproductibilité en raison de l'utilisation d'environnements et de protocoles différents par chaque équipe de recherche. Par ailleurs, la cybercinétose, un effet secondaire provoqué par l'activation des systèmes de détection de mouvements physiologiques pendant une séance de RV, peut entraîner des nausées et une désorientation, affectant ainsi le bon déroulement des séances de thérapie. Cet effet doit être d'autant plus surveillé dans le cadre des TCA qu'il touche près de la moitié des utilisateurs de RV, et que les femmes sont plus susceptibles d'être atteintes [170].

Enfin, il est a noté qu'à notre connaissance, seule l'étude de Nameth et coll. [174] a exploré l'utilisation d'un environnement immersif complet pour exposer des individus souffrant de TCA à des visuels alimentaires.

2.3 Études sur les comportements liés à l'alimentation en RV

Outre les aspects pathologiques associés à l'alimentation et au comportement alimentaire, les recherches utilisant la réalité virtuelle ont exploré d'autres domaines d'application. Si Xu et coll. [271] déterminent les applications d'expositions aux aliments et environnements liés à l'alimentation comme étant la partie majeure de ces études (28 %), ils distinguent aussi les sujets d'études suivants :

— les études portant sur le comportement d'achat ou de perception du produit en RV [21, 131] (24 %) ;
— les études d'évaluation sensorielle sur des produits alimentaires en RV [260, 187, 117] (24 %) ;

— les études sur les choix alimentaires au travers de buffet en RV [238, 158, 251, 53, 4, 121], dont l'évaluation et la rééducation du comportement alimentaire constitue également un axe en plein essor, en particulier chez l'enfant [185, 160, 106] (16 %).

On peut également citer les études portant sur l'expérience gastronomique de l'utilisateur [250], dont le but consiste à offrir les meilleures conditions qui permettront une adhésion plus accrue de l'utilisateur au contenu qui lui est diffusé.

2.3.1 Méthodes de création de contenu 3D

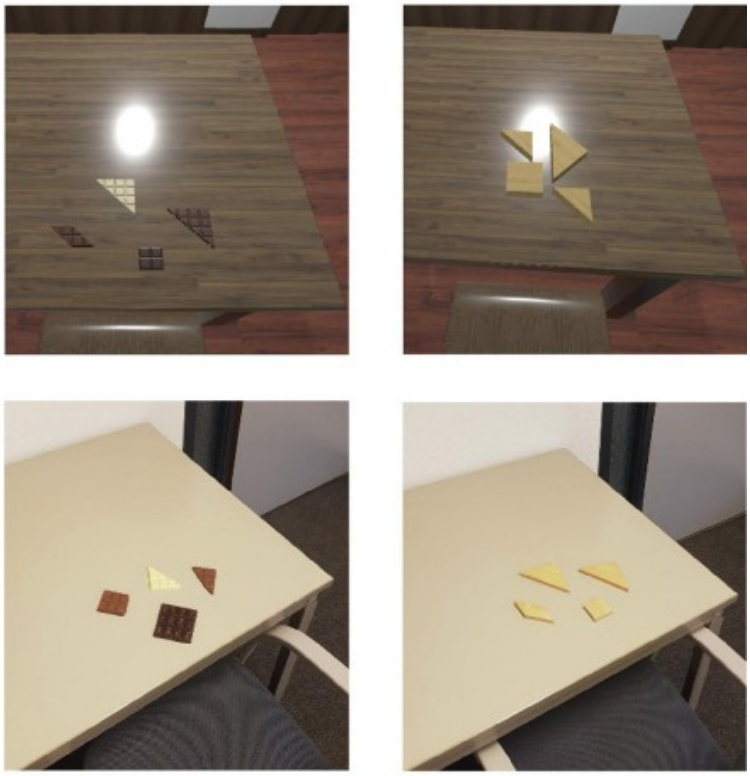
La création de stimuli visuels en 3D, pour la conception de stimuli alimentaires, a pu être abordée de diverses manières selon les besoins spécifiques des études. Parmi ces méthodes, la méthode de Conception Assistée par Ordinateur (*CAO*) a été largement utilisée pendant de nombreuses années [185, 259, 4]. Les figures 2.5a, 2.5b et 2.5c montrent par exemple, des aliments 3D issus d'une élaboration *via* un logiciel de CAO. Cependant, on observe actuellement l'émergence de la photogrammétrie, qui consiste à reconstruire la forme et la couleur d'un objet 3D à partir d'un ensemble de photos ou de vidéos prises à différents points de vue [175]. Des études en RV axées sur l'alimentation ont déjà utilisé ces techniques afin de représenter les visuels alimentaires de façon réaliste [274, 53, 2] (voir Fig. 2.6a, Fig. 2.6b et Fig. 2.6c). Les recherches sur la perfectibilité de cette méthode sont très actives, en particulier en ce qui concerne l'intégration et la reproduction des propriétés de réflectance d'un objet 3D [22, 132]. Par ailleurs, les méthodes de Neural Radiance Field, appelées *NeRF*, permettent maintenant la synthèse de scènes 3D basées sur un apprentissage profond (deep-learning), qui permet la génération de nouvelles propriétés de la scène, notamment de réflectance [167, 94]. Elles sont cependant limitées par rapport à la photogrammétrie en ce sens qu'elles sont encore difficilement affichables en temps réel.



(a)



(b)

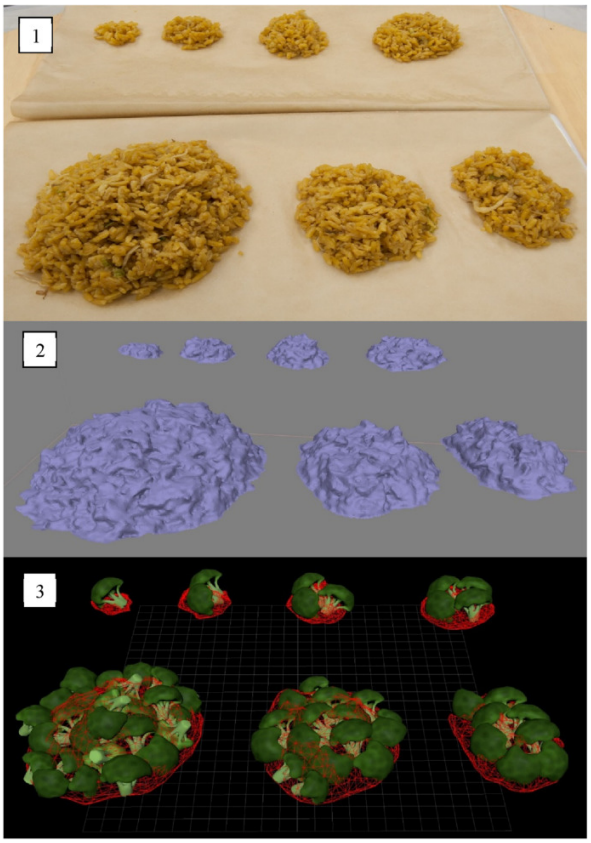


(c)

FIGURE 2.5 – (a) et (b) Buffet virtuel utilisé dans [185] et [160] ; (c) Visuel de chocolat exposé dans [259]. Les visuels présents dans ces environnements sont issus d'une modélisation en CAO.



(a)



(b)



(c)

FIGURE 2.6 – (a) Vue d'une cabine sensorielle virtuelle avec visualisation d'un croissant réalisé en photogrammétrie dans [274] ; (b) Scan en photogrammétrie de portions de riz utilisé pour la création de portion équivalentes de brocolis dans [53] ; (c) (e) Pâtisserie réelle vs représentation 3D réalisée en photogrammétrie dans [2]

2.3.2 Influence de l'environnement RV dans les applications alimentaires

Dans les études sur l'alimentation en RV, l'environnement 3D, y compris le contexte visuel entourant les stimuli alimentaires, joue un rôle majeur dans le désir de manger en réponse à ces stimuli. Des études ont mis l'accent sur l'appréciation du contenu des aliments en fonction de l'environnement dans lequel se situait l'utilisateur [164, 163], notamment sur la cohérence du contexte. Ainsi, un environnement immersif reproduisant les conditions ordinaires de dégustation d'un aliment va rendre le produit plus appétissant [187, 220] ; *a contrario*, un environnement peu familier sera en défaveur de l'appréciation de l'aliment 3D [74, 220].

2.4 Conclusion

Dans la première section, nous avons décrit l'origine de la classification des TCA depuis les premières observations jusqu'à l'époque contemporaine. Ces derniers se divisent principalement en 3 catégories, qui sont aujourd'hui au cœur du diagnostic des TCA. La seconde section porte sur l'état de l'art centré sur les traitements utilisés contre les TCA. Dans un premier temps, une focalisation a d'abord était faite sur les TCC, puis dans un deuxième temps sur l'utilisation de la RV, dont l'usage, issu de la déclinaison des traditionnelles TCC, a su se distinguer à travers trois méthodes principales : les TEC-RV, les TCC-A et les TES-RV.

Dans la perspective des TES-RV développées dans cette partie, il apparaît que si certaines études ont utilisé des reproductions d'environnements reconnus comme propices à la consommation alimentaire et à l'apparition du craving alimentaire, aucune d'entre elles n'a vraiment exploré de méthode de séquence d'exposition consécutive, ce qui permettrait une augmentation progressive de l'exposition tout au long de la thérapie. De plus, l'apport contextuel n'a pas été mis en avant dans ces études. Enfin, la plurimodalité des stimuli reste encore un aspect sous-exploré dans la littérature. Ces constats identifiés, notre approche visera à proposer une méthode en réponse aux limites susmentionnées.

La troisième partie porte sur les études visant à étudier le comportement et les émotions relatives aux comportements alimentaires en RV. Or, il a été observé que certaines d'entre elles se sont principalement concentrées sur la reproduction d'environnements propices à la consommation alimentaire en RV, mais peu ont examiné de manière approfondie les variations du désir de manger ressenti par les utilisateurs face à des stimuli alimentaires virtuels. De plus, l'impact de la qualité visuelle de ces stimuli sur ces réponses n'a pas été suffisamment étudiée dans la littérature existante. En outre, nous envisageons que des facteurs individuels, ainsi que le type d'aliment présenté en RV, puissent influencer les réponses des utilisateurs. Ces considérations s'appuient sur des travaux antérieurs qui ont suggéré que des variables individuelles et la nature spécifique des aliments peuvent jouer un rôle dans les réponses émotionnelles aux stimuli alimentaires. Ces questions sont également au cœur des interrogations de cette thèse : elles seront l'objet d'un cas d'étude spécifique, détaillé dans le chapitre 5.

ReVBED : Développement d'un environnement en RV pour l'induction de craving alimentaire à destination des thérapies des TCA

Sommaire

Origine de la réflexion de l'environnement

3.1.1 Choix de conception 30

3.1.2 Recommandations sur l'usage des équipements de RV 31

3.1.3 Conception de la disposition de l'environnement 32

Choix de conception

3.2.1 Espace d'évolution 35

3.2.2 Résumé du scénario d'exposition 39

3.2.3 Méthodes d'interactions 39

3.2.4 Choix du matériel 39

3.2.4.1 PC 39

3.2.4.2 Matériels de RV 40

3.2.4.3 Aspects sonores 43

Détails techniques

3.3.1 Scripting 44

3.3.2 Transition entre les pièces d'exposition 44

3.3.3 Modélisation 45
3.3.3.1 Pipeline et lighting 45
3.3.3.2 Post-processing 46
Détail sur les pièces d'exposition
3.4.1 Hall de l'immeuble 47
3.4.2 Couloir principal 49
3.4.3 Chambre à coucher 49
3.4.4 Chambre de l'adolescent 53
3.4.5 Salon 55
3.4.6 Cuisine 57
Conclusion

3.1 Origine de la réflexion de l'environnement

La réflexion sur l'élaboration d'un environnement thérapeutique à destination des TCA s'inscrit dans un partenariat entre le CHU de Saint-Étienne et les activités du pôle de RV de Centrale Lyon ENISE.

La stratégie choisie est celle d'une thérapie reposant sur l'atténuation du craving par la déconstruction du lien entre les épisodes de craving et les stimuli qui les induisent. Elle s'oriente donc vers une TES-RV, chez des personnes atteintes d'hyperphagie boulimique ou de BN.

L'environnement sera désigné sous le nom ReVBED, une contraction de deux acronymes, le premier étant réalité virtuelle et le deuxième étant *BED*, signifiant *Binge Eating Disorders* (hyperphagie boulimique en français).

La première étape, sujet principal de ces travaux de thèse, est de valider et de mesurer de manière qualitative et quantitative l'induction du craving au sein de l'environnement, avant d'entreprendre des thérapies au moyen de l'environnement construit. Des approches similaires ont déjà été utilisées et testées par des études antérieures. Les études de Pla-Sanjuenelo et coll. [190], Ferrer-Garcia et coll. [88] et Nameth et coll. [174], qui ont montré la capacité de la RV à simuler des environnements présentant différents contextes et avec des stimuli alimentaires qui peuvent déclencher des niveaux élevés d'envie de nourriture, évalués par des cotations orales des niveaux d'envie et d'anxiété des participants. Néanmoins, ces études sont limitées par l'utilisation de stimuli uniquement alimentaires et par des successions d'exposition à des environnements en RV sans lien contextuel. Une approche possible pour améliorer ces expériences en RV réside dans la scénarisation en évènements liés entre eux. En effet, des études précédentes [246, 103, 73] ont prouvé que la succession d'évènements est un catalyseur à l'apparition de TCA

3.1.1 Choix de conception

En conséquence, la conception de l'environnement devait répondre à une série de contraintes listées ci-dessous :

— l'environnement doit être totalement immersif, avec des interactions possibles et nécessaires pour la réalisation du scénario ;
— l'environnement doit être orienté vers l'induction de craving à destination de patients souffran de troubles de BN et de l'hyperphagie boulimique ;

— l'exposition doit suivre une séquence définie, où les patients exploreront chaque pièce selon un script précis et contextualisé ;
— cette procédure doit être dirigée par un professionnel de santé, assurant ainsi une orientation semi-guidée tout au long de l'immersion. Le script, dicté par ce professionnel, guidera l'expérience immersive de manière structurée ;
— pour créer l'environnement virtuel et les stimuli, des déclencheurs spécifiques du craving alimentaire doivent être identifiés en s'appuyant sur la littérature et l'expérience des cliniciens et patients en cours de thérapie lors de l'élaboration de l'environnement, englobant des indices visuels, sonores, émotionnels et socio-environnementaux. Leur contribution a été cruciale pour sélectionner les inducteurs les plus pertinents et efficaces sur le plan clinique pour susciter le craving alimentaire. Nous avons inclus des indices visuels, sonores, émotionnels et socio-environnementaux ;
— enfin, des exigences de réalisme graphique doivent être intégrées pour garantir une immersion optimale. Les graphismes devront être suffisamment réalistes pour renforcer l'illusion de présence et favoriser une réponse émotionnelle authentique chez les patients.

3.1.2 Recommandations sur l'usage des équipements de RV

Selon la Charte de Recommandations sur l'usage de la Réalité Virtuelle du Comité d'Éthique RV (Publication libre du Comité d'Éthique RV à l'initiative du GIE RV Connection, édition octobre 2019), nous avons porté une attention particulière sur les points suivants :

— PS1 (RECOMMANDATIONS ISSUES DE LA PSYCHOLOGIE-PSYCHOPATHO--LOGIE) : "Globalement, toute pathologie de l'utilisateur, affectant l'une ou plusieurs des dimensions psychologiques telles que la conscience, l'identité et la mémoire, doit mener à une grande vigilance quant aux contenus de l'immersion qui lui seront proposés mais aussi relativement à la durée et la répétition de celle-ci" ;
— INCONFORT SM3 (INCOHÉRENCE VISUO-VESTIBULAIRE) : "L'observateur étant immobile dans la pièce réelle, tout déplacement virtuel perçu par lui, dû à la vision des mouvements de la scène observée, va créer de l'inconfort, voire des nausées (médicalement appelé cinétose), si les accélérations des mouvements virtuels sont trop fortes"[258].

La procédure recommande l'apport d'une attention particulière aux personnes atteintes des troubles anxieux et psychiatriques. Le réconfort de l'utilisateur sera à la charge d'un

personnel du CHU compétant présent à proximité lors de l'immersion. En cas de manifestations anxieuses ou d'inconfort, le réconfort de l'utilisateur sera à la charge d'un personnel du CHU compétant présent à proximité lors de l'immersion. En cas de crise de craving majeure ou de situation anxiogène trop importante, une procédure d'interruption et sortie d'immersion est incluse dans la simulation. Elle pourra être déclenchée facilement, rapidement et à tout moment.

3.1.3 Conception de la disposition de l'environnement

L'objectif de notre projet était de créer une immersion reproduisant le plus fidèlement possibles les inducteurs de crises éprouvées par les patients. Pour atteindre cet objectif, nous avons opté pour un appartement classique constitué de 4 pièces, appelées "pièces d'exposition", que sont : une chambre à coucher, une chambre d'adolescent, un salon et une cuisine. Nous avons alors obtenu le plan représenté dans la Fig. 3.1.

Elles sont explorées dans cet ordre précis respectant un script d'exposition défini. Le scénario plonge le participant dans une soirée chargée de stress, lui demandant de gérer diverses tâches avant une réception imminente d'amis, comme prendre connaissance du courrier, choisir une tenue, ranger le désordre et préparer un apéritif. À la fin de l'expérience, le participant entend un message vocal annulant l'apéritif prévu. Le script détaillé est présent dans l'annexe A.1.

Ce script a été construit selon les connaissances actuelles en matière d'induction de craving alimentaire chez les patients atteints de boulimie et d'hyperphagie boulimique [189], afin de permettre des expositions graduellement croissantes avec l'exploration successive de chaque salle. Les stimuli ainsi identifiés ont ensuite été soumis à discussion à des cliniciens experts dans la prise en charge des TCA et à des patientes atteintes de BN ou d'hyperphagie boulimique afin de sélectionner les inducteurs les plus pertinents cliniquement. On peut les diviser en 2 types :

— les stimuli dits "environnementaux" : ce sont les stimuli qui font partie de l'environnement tel qu'il apparaît et qui peuvent être perçus par les différents sens. Ils peuvent inclure des aspects visuels ou auditifs de l'environnement. Ces stimuli peuvent influencer la perception et la réaction des individus à leur environnement, mais ils ne sont pas nécessairement liés aux émotions. Ce sont essentiellement les stimuli alimentaires ;
— les stimuli dits "émotionnels" : ce sont les stimuli qui sont liés aux divers évènements qui peuvent survenir au sein de l'environnement. Ces stimuli sont subjectifs et sont souvent associés à des émotions négatives.

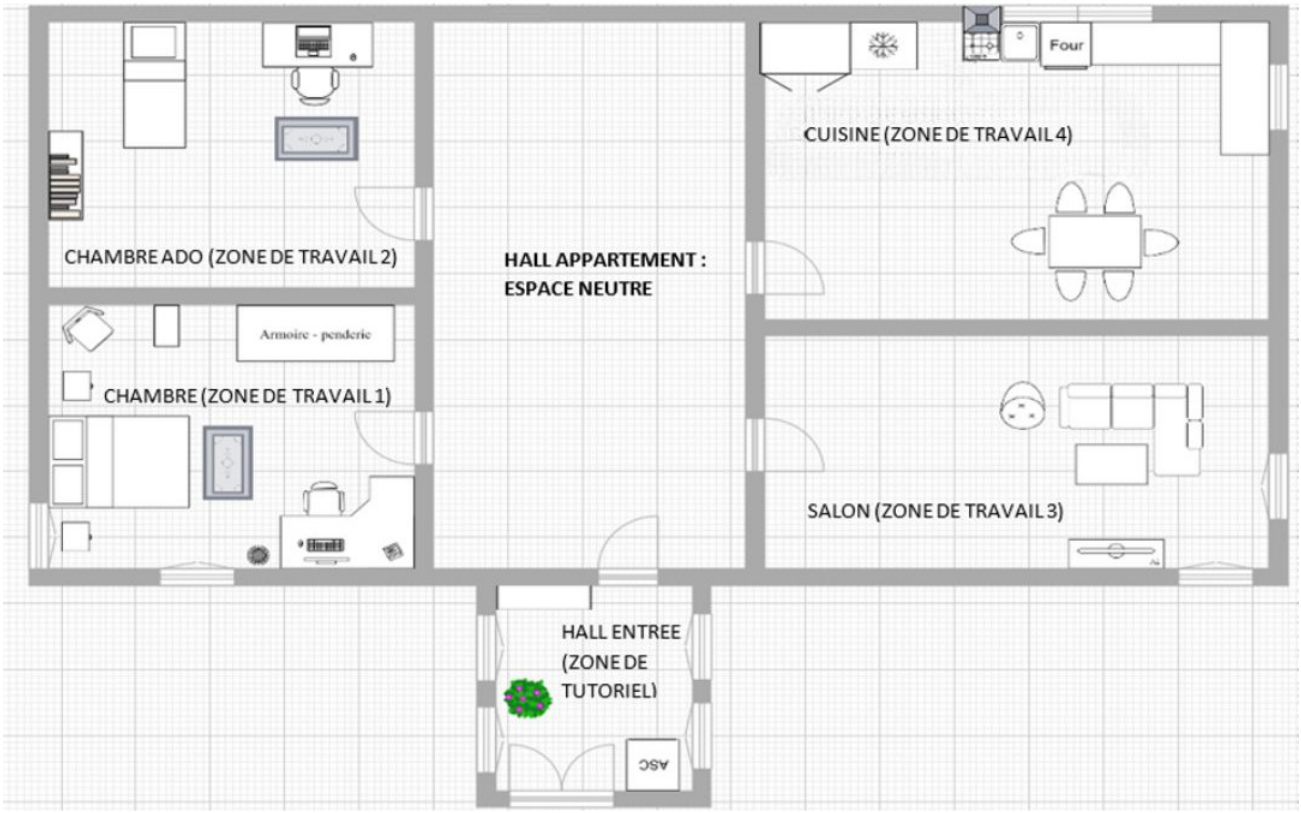


FIGURE 3.1 – Plan 2D de l'appartement représentant l'environnement en RV ReVBED

La disposition et le type des stimuli présents dans l'environnement ReVBED apparaissent dans le Tab. 3.1.

Une contrainte majeure était d'évaluer le craving et l'anxiété des patients périodiquement après chaque passage dans les différentes pièces. Pour répondre à cette exigence, nous avons décidé de disposer ces quatre pièces autour d'un couloir neutre, dépourvu de tout stimulus. Le passage dans ce couloir était obligatoire après chaque exposition à l'une des quatre pièces. C'est dans ces conditions que le participant était invité à fournir une cotation orale de son niveau de stress et de craving après chaque pièce. Cette approche nous a permis d'obtenir un plan et un parcours structurés de manière à maximiser l'identification des participants à l'environnement. Le parcours de l'environnement est représenté dans la Fig. 3.2.

	Chambre à coucher	Chambre de l'adolescent	Salon	Cuisine
Stimuli environnementaux	- Visualisation de publicités alimentaires	- Environnement sonore inconfortable en raison d'un volume sonore trop élevé (jeu vidéo)	- Visualisation d'aliments sucrés (gaufres, cookies, chocolat) - Émission culinaire passant à la télévision (son + visuel)	- Visualisation d'aliments salés et sucrés
Stimuli émotionnels	- Visualisation de factures, compte en banque négatif, de publicités de salle de sport -Passage devant un miroir -Choix mental d'une tenue à vêtir	- Participant ignoré par l'adolescent concentré à jouer : réalise qu'il ne pourra pas compter sur lui, vécu de rejet		- Four à mettre en marche - Reproduction d'une petite voix devant la cellier incitant le participant à commencer à manger- Message téléphonique d'amis indiquant qu'ils ne pourront finalement pas venir

TABLE 3.1 – Description des stimuli environnementaux et émotionnels dans les différentes pièces

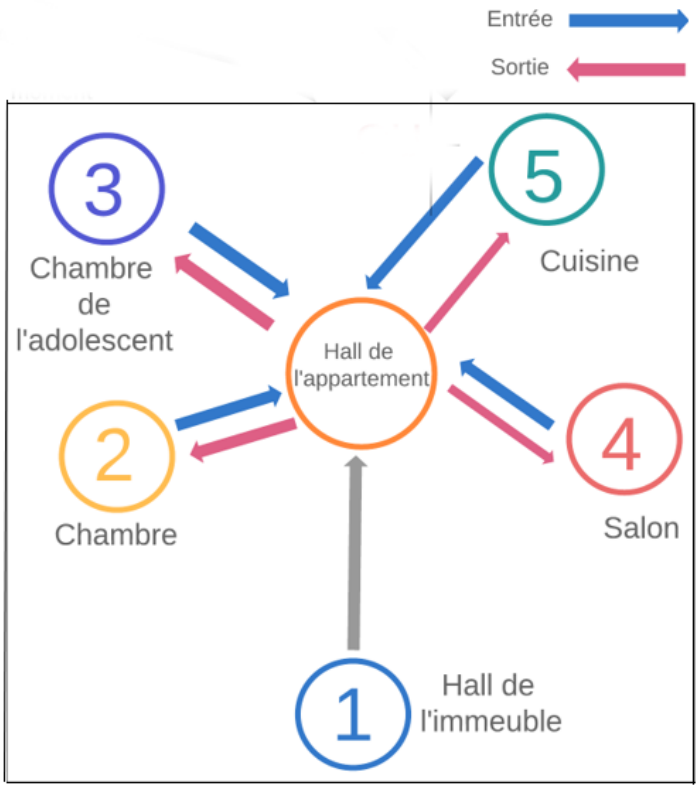


FIGURE 3.2 – Schéma du parcours scripté réalisé par le participant dans l'environnement ReVBED

3.2 Choix de conception

3.2.1 Espace d'évolution

L'un des principaux défis de l'expérience utilisateur dans une application en RV est le mode de déplacement requis, dont la principale problématique réside dans la divergence qui peut survenir entre l'environnement virtuel et l'espace physique réel de l'utilisateur. Si l'espace dédié est limité, l'application doit recourir à des métaphores de déplacement, une

solution fréquemment adoptée.

Le sens du déplacement est principalement perçu par la vision et le système vestibulaire, avec une contribution moindre des capteurs proprioceptifs des jambes et des pieds. Plusieurs solutions sont possibles. Cherni et coll. [56] distinguent 3 types de solutions de mouvement en RV (voir Fig. 3.3) :

- les méthodes centrées sur des stratégies de détection des mouvements du corps pour marcher dans l'environnement virtuel (dites *User-body centered*). Elles incluent des principes basés sur la marche libre ou sur des déplacements issus des mouvements de certaines parties du corps (bras, tête ou buste) ;
- les méthodes basées sur des déplacements utilisant des périphériques externes (dites *External Peripheral Centered*). Celles-ci incluent les métaphores de téléportation basées sur la sélection d'un point de l'environnement. Ce type de déplacement permet à l'utilisateur de se déplacer instantanément d'un endroit à un autre en sélectionnant simplement sa destination à l'aide d'un dispositif de pointage ou d'autres contrôleurs externes ;
- enfin, les méthodes basées sur la combinaison des 2 premières (*Mixed*).

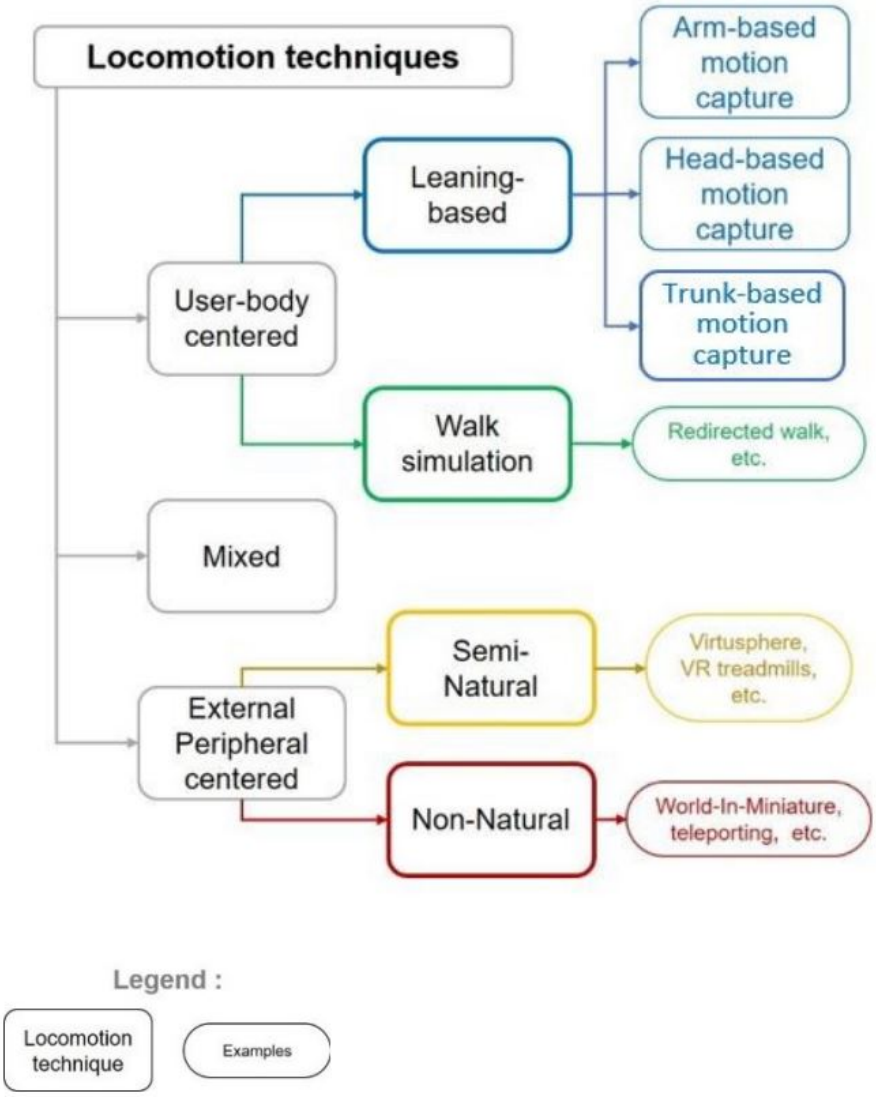


FIGURE 3.3 – Taxonomie des techniques de déplacement en réalité virtuelle d'après [56]

Pour ce faire, nous avons sélectionné un espace relativement grand, offrant à la fois une amplitude de mouvement suffisante et une disposition fluide des différentes zones thématiques. Cette disposition spatiale visait à éviter toute sensation d'encombrement ou de restriction, favorisant ainsi une exploration confortable et naturelle de l'environnement par les participants.

Notre choix a donc été orienté vers un espace large dont la totalité de l'aire d'évolution pouvait être trackée par le matériel choisi. La pièce choisie fait donc 40 m^2. Située dans les locaux du CHU de Saint-Étienne dédiés à la recherche, elle garantissait la déontologie et la confidentialité requises pour mener notre étude clinique, notamment vis-à-vis de la protection des données personnelles des participants ainsi que la confidentialité des échanges et des observations effectuées au cours de l'expérience. De plus, la proximité avec les installations médicales et les services de soins du CHU a facilité la coordination logistique de notre projet, notamment en ce qui concerne l'accès aux équipements spécialisés et la disponibilité des professionnels de santé pour superviser l'expérience. Elle a également permis d'assurer le suivi et le bien-être des participants tout au long de leur participation à l'étude, conformément aux normes éthiques et déontologiques en vigueur dans le domaine de la recherche médicale.

Pour répondre à une méthode alternative venant compléter la marche libre, j'ai proposé deux solutions :

— la première fût l'utilisation du joystick ou du pad central situé sur l'une des manettes permettant une combinaison d'un mouvement longitudinal et latéral. Cette méthode a tendance à provoquer certains effets de cybercinétose dû à l'incohérence visuo-vestibulaire, qui peuvent grandement altérer nos résultats. Cette solution n'a pas été retenue ;

— la seconde fût simplement l'utilisation d'une aire de téléportation dans laquelle l'utilisateur peut se téléporter en tout point.

Ces deux méthodes sont par ailleurs reconnues comme étant les solutions provoquant le moins de cybercinétose.

3.2.2 Résumé du scénario d'exposition

L'histoire principale de l'expérience ReVBED se déroule dans un contexte de vie quotidienne ordinaire, ce qui la rend accessible et familière pour l'utilisateur. En se glissant dans la peau du protagoniste, l'utilisateur est immergé dans une situation réaliste et tangible : celle d'un individu qui rentre chez lui après une journée mouvementée. Cette journée, prend une tournure supplémentaire lorsque le protagoniste se retrouve confronté à l'inattendu : des amis annulent leur visite à la dernière minute pour l'apéritif.

L'exploration des différentes pièces de l'appartement, avec les tâches à accomplir et les choix à faire, crée un sentiment d'urgence et de pression. Tout au long de cette expérience, l'utilisateur est amené à une évaluation continue de ses propres niveaux de craving alimentaire et d'anxiété, tout en gardant en tête qu'il doit préparer un apéritif dînatoire au plus vite.

La chute de l'histoire intervient lorsque l'apéritif, une fois préparé, est finalement annulé. En effet, les amis annulent leur visite au dernier moment, représentant l'imprévisibilité des événements et la difficulté à gérer les attentes et les plans en constantes évolution.

3.2.3 Méthodes d'interactions

Dans le cadre de l'environnement ReVBED, les interactions avec les objets virtuels étaient essentielles pour garantir une expérience utilisateur engageante. La méthode d'interaction choisie fût la saisie d'objets à l'aide du trigger (voir N°7 sur la Fig. 3.4) disponible sur chacune des manettes HTC™ Vive. Cette méthode permettait aux participants de saisir, manipuler et déplacer des objets virtuels de manière intuitive, notamment lors de la préparation de l'apéritif, où l'utilisateur est tenu de déposer des aliments sur la table de la cuisine.

3.2.4 Choix du matériel

3.2.4.1 PC

Le PC utilisé pour embarquer la scène de RV contient les spécificités suivantes : processeur INTEL® Xeon® W-2235 3.8 GHz, 32,0 Go de RAM, système d'exploitation 64 bits, processeur ×64, carte graphique NVIDIA Quadro RTX 4000.

3.2.4.2 Matériels de RV

En ce qui concerne le choix du casque de RV permettant l'immersion, nous avons opté pour un HTC™ VIVE PRO EYE (voir Fig. 3.4a). Plusieurs raisons expliquent ce choix :

— la taille maximale qui peut être trackée avec ce casque est de 9,75 mètres sur 9,75 mètres avec 4 stations de base SteamVR™ 2.0, ce qui permet une bonne évolution dans l'espace suite à la contrainte de déplacement mentionnée dans la section 3.2.1 ;
— l'écran du HTC™ VIVE PRO EYE est un Dual OLED de 3.5" de diagonale, offrant une qualité d'affichage avec une résolution de 1 440 x 1 600 pixels par œil (2 880 x 1 600 pixels combinés), un taux de rafraîchissement de 90 Hz et un champ de vision de 110°. Ces caractéristiques garantissent des images nettes et une fluidité dans la retranscription des mouvements effectués dans l'environnement ;
— les contrôleurs associés offrent une alternative aux autres contrôleurs dérivés des manettes de jeu vidéo, et sont plus adaptés à une meilleure prise en main pour un public néophyte, malgré leur poids relativement lourd (203 g) (voir Fig. 3.4b).

Pour que les utilisateurs puissent bénéficier d'une liberté de mouvement sans entrave ni contrainte, nous avons eu recours au VIVE™ WIRELESS KIT permettant une utilisation sans fil du casque de RV. Ce kit inclut une carte PCI reliée à une antenne utilisant le protocole WiGig 60 GHz, et un boîtier de liaison supplémentaire (voir Fig. 3.5). La spécification WiGig permet aux appareils de communiquer sans fil à des vitesses de plusieurs gigabits. Il permet des applications de données, d'affichage et audio sans fil hautes performances, allant jusqu'à des taux de transfert de 7 Gbits/s.



(a) (b)

FIGURE 3.4 – (a) Vue d'ensemble du HTC™ VIVE PRO EYE, des contrôleurs HTC™ et des stations de base SteamVR™ 2.0 ; (b) Détail sur les fonctionnalités des contrôleurs HTC™. Extrait de [116].



(a) (b)

FIGURE 3.5 – (a) Boîtier de liaison avec fixations au casque et batterie portable du VIVE™ WIRELESS KIT ; (b) Carte et Antenne Wigig du VIVE™ WIRELESS KIT. Extrait de [116].

3.2.4.3 Aspects sonores

La volonté d'ajouter à l'immersion une composante sonore de qualité a fait aussi partie de nos objectifs. Les écouteurs des deux casques de RV évoqués précédemment, bien que spatialisant le son, n'englobent pas entièrement le pavillon de l'oreille, ce qui limite la diffusion de la bande sonore. C'est pourquoi nous nous sommes tournés vers des écouteurs sans fil avec des filtres actifs à réduction de bruit à jauge ajustable, qui ont permis de réduire l'impact des bruits extérieurs sur l'expérience utilisateur et l'incohérence sur l'immersion qu'ils pouvaient produire. Les écouteurs choisis sont des Bose Quiet Control 30 Wireless (voir Fig.3.6).

Comme le casque isole l'utilisateur de l'environnement extérieur, la personne chargée de le guider et de lui expliquer le scénario ne pouvait s'adresser à lui directement. La contrainte fût soulevée en utilisant le micro d'un smartphone *via* un WO MIC, un logiciel permettant l'utilisation de ce dernier comme microphone. Ce logiciel permet également la superposition d'une bande son autre en plus de celle du micro en question.



FIGURE 3.6 – Bose Quiet Control 30 Wireless. Extrait de [30].

3.3 Détails techniques

L'intégralité de l'application a été développée au moyen du moteur de jeu Unity 3D, dans sa version 2020.1.16. Par ailleurs, certains éléments modélisés ont été créés à l'aide du logiciel de modélisation 3D Blender [61].

3.3.1 Scripting

Le casque de RV choisi fait partie de la gamme HTC compatible avec SteamVR. A ce titre, le Plugin SteamVR [252] permet une intégration de l'Application Programming Interface (API) OpenVR dans un environnement RV avec des compatibilités facilitées pour ces casques. L'environnement ReVBED utilise donc :

— l'asset "Player", qui correspond à un GameObject contenant l'ensemble des scripts afin de reproduire un avatar à la première personne incarnable par l'utilisateur. Seules les mains ont cependant un rendu visible par l'utilisateur. Elles sont également articulées selon les interactions qu'il choisies ;
— l'asset "Teleportation Area", scripté de façon à permettre à l'utilisateur de sélectionner un point de téléportation dans une aire prédéfinie de l'espace afin de s'y téléporter ;
— les assets "Interactable" et "Throwable" : le premier permet d'indiquer quels objets peuvent interagir avec les mains de l'avatar ; le deuxième permet la saisie des objets.

3.3.2 Transition entre les pièces d'exposition

Une autre problématique porta sur le passage d'une pièce à l'autre de l'appartement. Il convient de noter que toutes les pièces devaient être munies d'une porte fermée, ceci afin d'empêcher que le patient ne porte son attention sur des éléments extérieurs à la salle où il se situait à l'instant présent.

Une étape devait être réalisée pour que l'utilisateur ait l'impression de les ouvrir et ainsi pénétrer dans la pièce voulue.

Dans l'ordre de proposition, j'ai développé et testé les solutions suivantes :

— une première solution consistant à demander au patient d'ouvrir la porte de façon réaliste, c'est-à- dire en enclenchant la poignée puis en poussant la porte. Il s'est avéré qu'elle pouvait représenter une charge mentale conséquente et inutile pour le patient, le mouvement nécessaire à la réalisation de la tâche pouvant être trop complexe ;

— la deuxième se basant sur l'utilisation d'un point de téléportation à proximité des seuils, qui avait également la fonction de provoquer une seconde téléportation, automatisée et marquée par un fondu noir.

Au cours de nos expérimentations, il nous est apparu essentiel que le patient se concentre exclusivement sur les éléments ciblés pour déclencher les crises que nous voulions provoquer. Même si nous cherchions à simplifier autant que possible la transition entre les différentes pièces, celle-ci constituait néanmoins une charge cognitive que le patient pouvait avoir du mal à appréhender, générant ainsi un stress supplémentaire susceptible de fausser nos résultats. Après avoir identifié cette nécessité de concentration sur les éléments ciblés, nous avons examiné deux nouvelles approches pour faciliter la transition entre les pièces, chacune attribuant des fonctions spécifiques à une tierce personne située à proximité du dispositif :

— la première attribuant la fonction de téléportation à une personne tierce située à proximité du dispositif expérimental. Cette personne déclenche la téléportation lorsque le personnel clinique chargé d'expliquer le scénario la lui autorise, après avoir indiqué à l'utilisateur que la transition allait avoir lieu ;
— la seconde attribuant l'ouverture et la fermeture des portes de chaque pièce à une personne tierce située à proximité du dispositif expérimental. Cette personne déclenche les ouvertures de porte en fonction de l'avancement dans le scénario, sous l'aval du personnel clinique. Cette dernière n'impliquant pas de mouvement appliqué au participant sans une action de sa part, elle fût définitivement retenue.

.

3.3.3 Modélisation

3.3.3.1 Pipeline et lighting

Dans le développement d'une application en RV, l'éclairage joue un rôle crucial dans le réalisme de l'environnement proposé à l'utilisateur. Cependant, son optimisation demande une gestion importante des capacités de calcul dont le PC dispose.

Depuis la version 2019.2, Unity propose différentes solutions de pipeline de rendu graphique, notamment le High Definition Render Pipeline (*HDRP*). Ce dernier est basé sur des techniques d'éclairage physique, un éclairage linéaire, un éclairage HDR et une architecture d'éclairage hybride. Nous avons choisi d'utiliser le HDRP pour notre application suite aux exigences de réalisme que nous nous sommes fixés. En ce qui concerne l'éclairage



FIGURE 3.7 – Différence de rendu de luminosité dans le couloir principal de ReVBED suivant deux angles de vue différents

en HDRP, le Physical Light Unit (*PLU*) repose sur une métrique d'éclairage basé selon des rendus . Les rendus sont réalistes à condition d'utiliser l'échelle de distance appliquée à Unity (1 unité = 1 mètre). Par exemple, selon le point de vue de l'utilisateur, la perception de la lumière, directe ou réfléchie, dépend fortement de l'angle d'observation de la source lumineuse (voir Fig. 3.7).

Une personnalisation intéressante est celle de l'ajout possible d'un Volumetrics Lightning qui permet de générer une opacité appliquée à toute source lumineuse d'une scène en RV. Cette option fut ajouté dans ReVBED : l'utilisation de l'éclairage volumétrique a pour effet d'assombrir légèrement l'environnement, ce qui renforce l'ambiance maussade recherchée dans la simulation.

3.3.3.2 Post-processing

Un autre aspect crucial à propos du rendu concerne l'utilisation d'un package spécifique destiné au rendu final : le Post Process Package, dont certains paramètres peuvent être configurés *via* le HDRP Asset mentionné précédemment.

Le Post Processing n'agit pas directement sur la structure, le texturage, le mappage d'un objet ou même sur l'éclairage de la scène, mais plutôt comme une série de filtres appliqués à la mémoire tampon de la caméra. Étant donné que les performances fluides d'une application dépendent largement des capacités de la caméra, il est important de l'utiliser en tenant compte des calculs nécessaires pour obtenir les résultats souhaités. De

plus, ces effets peuvent être appliqués à un volume spécifique de l'espace, plutôt qu'à toute la scène. Pour utiliser le Post Process Package, un asset appelé Post Processing Profile (permettant de définir l'ensemble des rendus) ainsi que deux composants inclus dans ce package sont nécessaires : le Post Processing Layer (qui attribue les lois de définition à la caméra) et le Post Processing Volume (qui définit les volumes d'application). Citons, comme post-effects utilisés : l'ambient occlusion, l'anti-aliasing, le bloom, le chromatic aberration, le grain, le motion blur ou encore le screen space reflections.

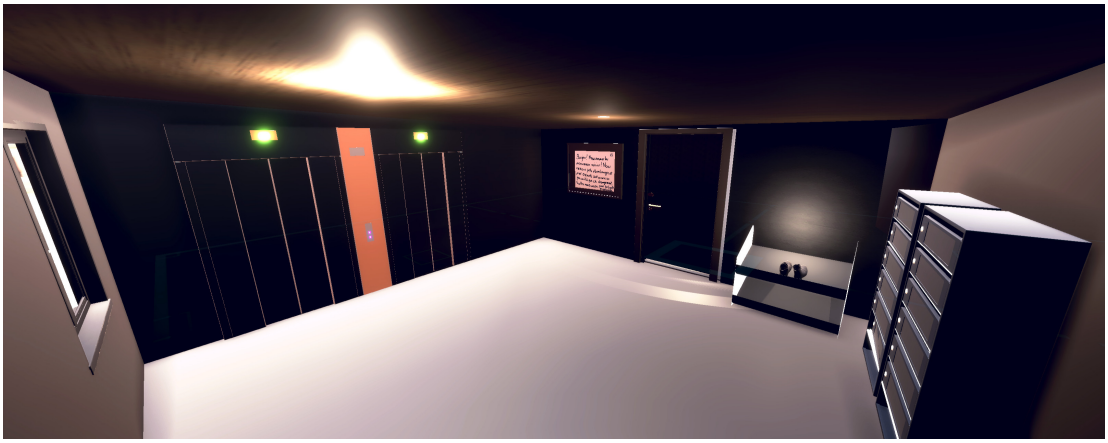
3.4 Détail sur les pièces d'exposition

3.4.1 Hall de l'immeuble

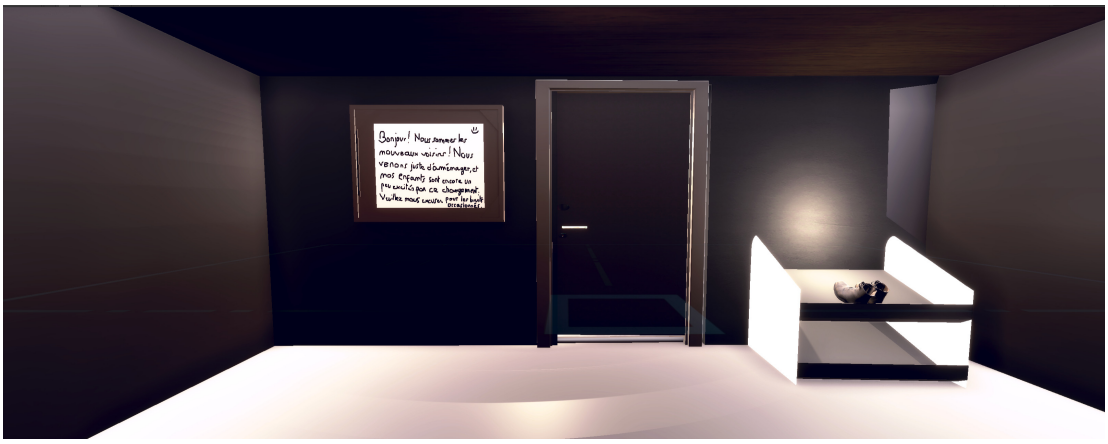
Le hall de l'immeuble constitue la première pièce dans lequel l'utilisateur se trouve au commencement de l'immersion (voir Fig. 3.8a). Le hall de l'immeuble est présenté comme une pièce neutre, agissant comme un sas entre l'extérieur et l'intérieur de l'appartement où se déroule l'expérience. Il permet à l'utilisateur de prendre connaissance de la modélisation de ses mains, ainsi que de vérifier l'ensemble des interactions auxquelles il aura potentiellement recours dans l'environnement avec les contrôleurs : il lui est ainsi demandé d'effectuer des téléportations et des rotations dans la pièce ainsi que de saisir des objets préhensibles (chaussures présentes sur une étagère) (voir Fig. 3.8a). Cette étape est plus une vérification de la compréhension de l'utilisateur à la manipulation des contrôleurs, car il aura déjà eu l'occasion de les découvrir avec un tutoriel en RV prévu en amont (voir Section 4.7.2.1). Par ailleurs, pour vérifier la bonne visualisation de l'environnement, l'utilisateur doit lire le message présent sur un tableau et rédigé par les voisins, formulé comme suit :

Bonjour ! Nous sommes les nouveaux voisins ! Nous venons juste d'aménager, et nos enfants sont encore un peu excités par ce changement. Veuillez nous excuser pour les bruits occasionnés.

Par la suite, après une première évaluation du niveau de craving et de stress, c'est dans cette pièce que le contexte est introduit à l'utilisateur (voir Section 3.2.2).



(a)



(b)

FIGURE 3.8 – (a) : Vue d'ensemble du hall de l'immeuble ; (b) Vue de la façade d'entrée, avec le message d'excuse des voisins, la porte d'entrée principale et l'étagère à chaussures

3.4.2 Couloir principal

Le couloir principal de l'environnement ReVBED relie les quatre pièces d'exposition de l'appartement. L'utilisateur y pénètre *via* la porte du hall de l'immeuble. Il est conçu sans aucun stimulus susceptible d'influencer les évaluations de craving et de stress, qui sont réalisées dans ce couloir après la visite de chacune des pièces(voir Fig. 3.9).

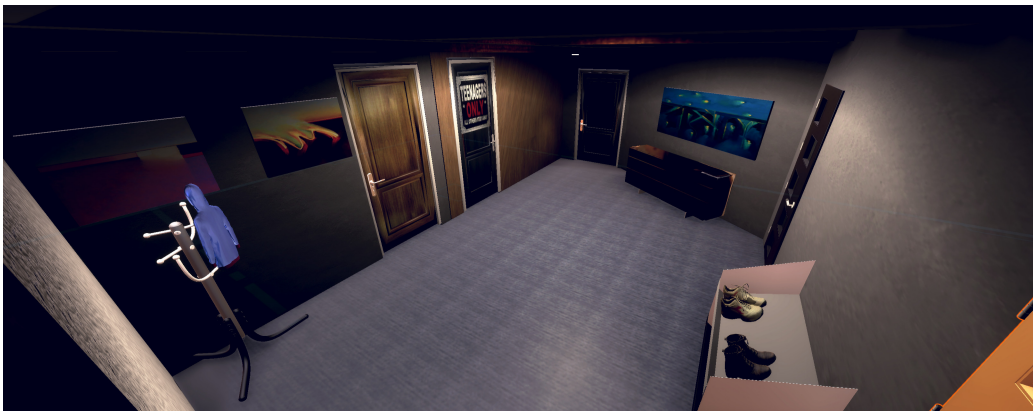


FIGURE 3.9 – Vue d'ensemble du couloir principal

3.4.3 Chambre à coucher

Dans la chambre (voir Fig. 3.10a), première pièce d'exposition, l'utilisateur est invité à effectuer plusieurs actions spécifiques :

— prendre connaissance des documents et informations sur le bureau. Sur le bureau, on peut trouver des documents et des informations variées, dispersées ou organisées. Ces documents sont des publicités alimentaires, des prospectus pour des salles de sport, une facture et une lettre portant la mention "Important". L'utilisateur est encouragé à observer attentivement ces documents. Il est également amené à visualiser un écran d'ordinateur affichant un compte en banque, qui affiche un solde négatif. La visualisation de ces documents constitue la première exposition à des stimuli environnementaux et émotionnels (voir Fig. 3.10b) ;
— passer devant un miroir. L'utilisateur est ensuite amené à passer devant un miroir (à noter que le miroir incorpore un rendu avec un reflet bleu, ceci dans le but de ne pas causer d'incohérence avec un rendu réel, l'utilisateur n'incarnant pas un avatar à proprement parler). La possibilité de voir la représentation de son propre

corps peut constituer une frustration (symptômes de la dysmorphophobie) pouvant à terme induire un craving alimentaire (voir Fig. 3.10c) ;

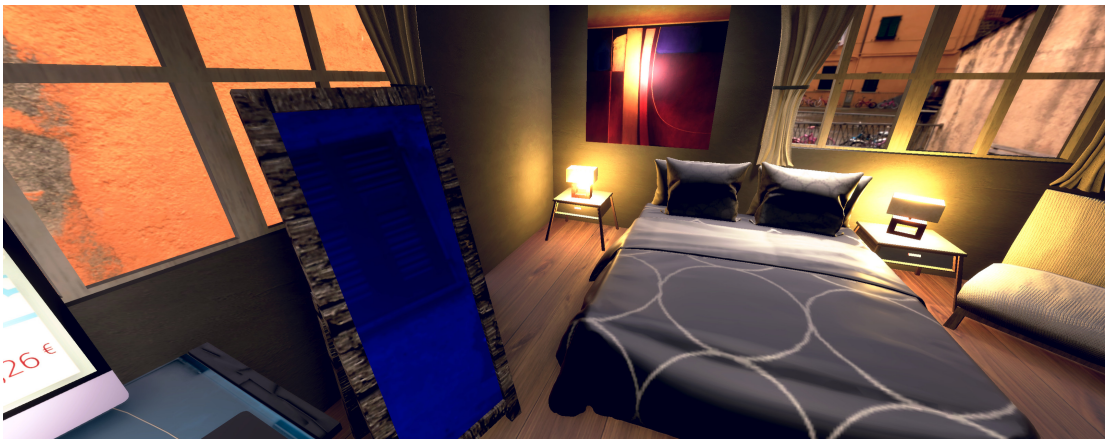
— choisir une tenue pour la soirée. L'utilisateur est amené à choisir une tenue parmi trois présentes dans un dressing, à savoir une tenue "chic", une tenue "décontractée" et une tenue "conventionnelle" (voir Fig. 3.10d). Ce choix vestimentaire peut avoir un impact sur la perception de soi et l'estime de soi de l'utilisateur, ainsi que l'impression que les amis du personnage pourront éventuellement avoir de lui lors de leur arrivée.



(a)


DÉCOUVERT AUTORISÉ - COMMENT EN SORTIR ?
COMPTE COURANT
161,26 €

(b)



(c)



(d)

FIGURE 3.10 – (a) Vue d'ensemble de la chambre à coucher ; (b) Vue du bureau sur lequel sont disposés des documents ainsi qu'un écran affichant un compte en banque négatif ; (c) Vue du miroir ; (d) Vue de l'armoire avec les 3 tenues (1 : Tenue "conventionnelle", 2 : Tenue "chic", 3 : Tenue "décontractée")

3.4.4 Chambre de l'adolescent

La chambre de l'adolescent constitue la seconde pièce visitée par l'utilisateur (voir Fig. 3.11a). Plusieurs stimuli contribuent à immerger l'utilisateur dans l'expérience narrative :

— le désordre caractéristique. La chambre est en désordre, avec des vêtements épars et des objets éparpillés, contribuant à créer une atmosphère de stress et de confusion pour l'utilisateur, en accord avec le contexte du scénario (voir Fig. 3.11a) ;
— l'adolescent. L'adolescent présent dans la chambre est représenté comme étant plongé dans son écran d'ordinateur. L'utilisateur est appelé à l'interpeller, or il ne réagit pas malgré les tentatives de sollicitations. Cette attitude peut renforcer le sentiment d'isolement ou de responsabilité qui pèse sur l'utilisateur, confronté à la nécessité de préparer l'apéritif seul (voir Fig. 3.11b) ;
— le visuel de cookies. La présence de cookies sur le bureau, visiblement consommés par l'adolescent, constitue la première exposition à un stimulus alimentaire (voir Fig. 3.11c).



(a)



(b)



(c)

FIGURE 3.11 – (a) Vue d'ensemble de la chambre de l'adolescent ; (b) Vue de l'adolescent jouant à un jeu vidéo sur PC ; (c) Vue d'une boîte de cookie et de cookies sur le bureau de l'adolescent

3.4.5 Salon

Le salon est la troisième pièce d'exposition (voir Fig. 3.12a). C'est dans cette pièce que la vraie première exposition à des stimuli visuels alimentaires est effectuée :

— la présence de nourriture sucrée sur la table basse. L'utilisateur peut observer diverses collations sucrées disposées sur la table basse du salon : cookies, chocolat, gaufres, tartines avec confiture, café et petits gâteaux. L'utilisateur est encouragé à examiner attentivement ces aliments. Il est interpellé sur la pertinence d'un tel buffet pour un apéritif dînatoire, qui s'avère peu utile vue la composition exclusivement sucrée des aliments présentés ;

— une émission télévisée culinaire sur l'écran du salon peut être vue et entendue. Cette émission présente des recettes appétissantes et des images de plats, qui peuvent stimuler le craving alimentaire de l'utilisateur. Dans le cadre de l'expérience, l'utilisateur doit éteindre la télévision pour se concentrer sur la préparation de l'apéritif et le rangement.



(a)



(b)



(c)

FIGURE 3.12 – (a) Vue d'ensemble du salon ; (b) Vue de la table basse avec les collations sucrées (1 : cookies, 2 : chocolat, 3 : gaufres, 4 : confiture avec tartines, 5 : café, 6 : petits gâteaux) ; (c) Vue de l'émissions culinaire

3.4.6 Cuisine

La cuisine est la quatrième et dernière pièce d'exposition (voir Fig. 3.13a). C'est dans cette pièce que l'apéritif va être constitué. L'utilisateur est d'abord exposé à :

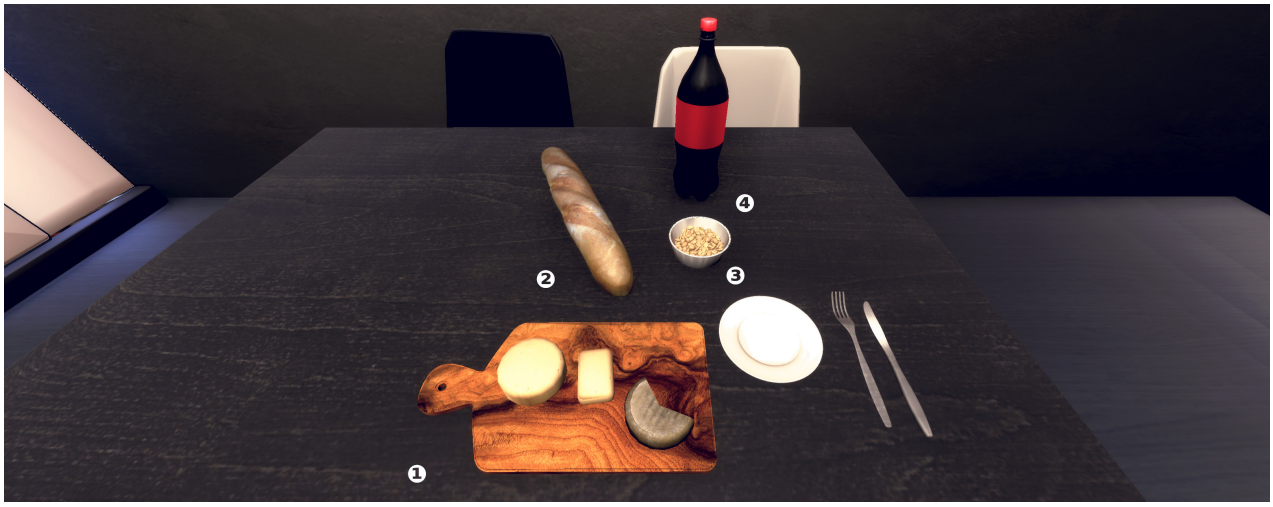
— une table au centre de la cuisine. L'utilisateur se trouve face à une table située au centre de la cuisine. Sur cette table, il peut observer divers aliments déjà prédisposés pour un apéritif : tels qu'un plateau de fromages, des verres, des serviettes, du pain et un soda. L'utilisateur est encouragé à s'approcher de la table pour examiner ces éléments de plus près (voir Fig. 3.13b) ;
— un cellier. Derrière l'utilisateur se trouve un grand cellier. Il est divisé en 3 étages. 2 étages contiennent des aliments sucrés (confiseries, biscuits, céréales, pâte à tartiner). Le troisième contient des conserves, ainsi que des paquets de chips. L'utilisateur est invité à se téléporter devant et à observer attentivement son contenu afin de trouver des éléments pouvant compléter l'apéritif dînatoire, en commençant par le haut et en descendant jusqu'au bas. En même temps, une petite voix est diffusée au participant. La voix est censée être celle du participant, représentant la dualité entre la volonté de résister à la tentation alimentaire et le désir de céder à la compulsivité, rapporté par certaines personnes atteintes de TCA. Cette voix dit les lignes suivantes : *"Alors, qu'y a-t-il dans cette cave ? Hmm, ça a l'air bon... Wow, ça fait longtemps que je n'ai pas mangé ça. Ce serait dommage de ne pas en goûter un peu. Allez, juste un morceau quoi... Ah non, hors de question ! Tu as juré de ne pas y toucher. Ne cède pas maintenant, ce n'est pas le moment !"* Après discussion du choix, des chips sont recommandées, et le participant est invité à mettre au moins un paquet de chips sur la table (voir Fig. 3.13c) ;
— un four. L'utilisateur est ensuite chargé d'allumer le four. En examinant l'intérieur du four, l'utilisateur peut constater qu'il contient déjà une pizza (voir Fig. 3.13d) ;
— un réfrigérateur américain. En marchant librement vers le réfrigérateur, l'utilisateur peut vérifier dans ce dernier s'il y a des éléments supplémentaires pour compléter l'apéritif. Cette étape vise à enrichir la sélection d'aliments disponibles pour l'apéritif (voir Fig. 3.13e et Fig. 3.13f). La partie gauche du réfrigérateur, plutôt remplie, est explorée en premier. Elle contient des légumes (salade, tomate, concombre), des oeufs, des fruits, des yaourts, des paquets de viande congelée, des jus de fruits, des sodas, mais également un plat d'olives, une boîte de saucisses apéritives et une assiette de wraps. La partie droite, plutôt vide, est explorée après. Elle contient du beurre, une part de gâteau, un paquet de pommes de terre congelées et du ketchup. L'utilisateur est amené à choisir les ingrédients susceptibles de convenir à un apéritif et de les déposer sur la table ;
— un message vocal d'annulation de l'apéritif. Une fois les aliments pris dans le ré-

frigérateur déposés sur la table, l'utilisateur entend un message vocal annonçant l'annulation de l'apéritif. Le message est formulé comme suit : *"Oui, bonjour ! J'espère que tu vas bien. Finalement, on ne pourra pas venir, on a un problème de dernière minute. Mais on remet ça à plus tard. Allez, à bientôt !"*. Cette annonce met fin à l'urgence de préparer les aliments.

— la fin de l'urgence. Suite à l'annulation de l'apéritif, l'utilisateur est informé qu'il n'a plus besoin de se presser pour préparer les aliments. Il lui est simplement demandé d'éteindre le four avec son index avant de quitter la cuisine.



(a)



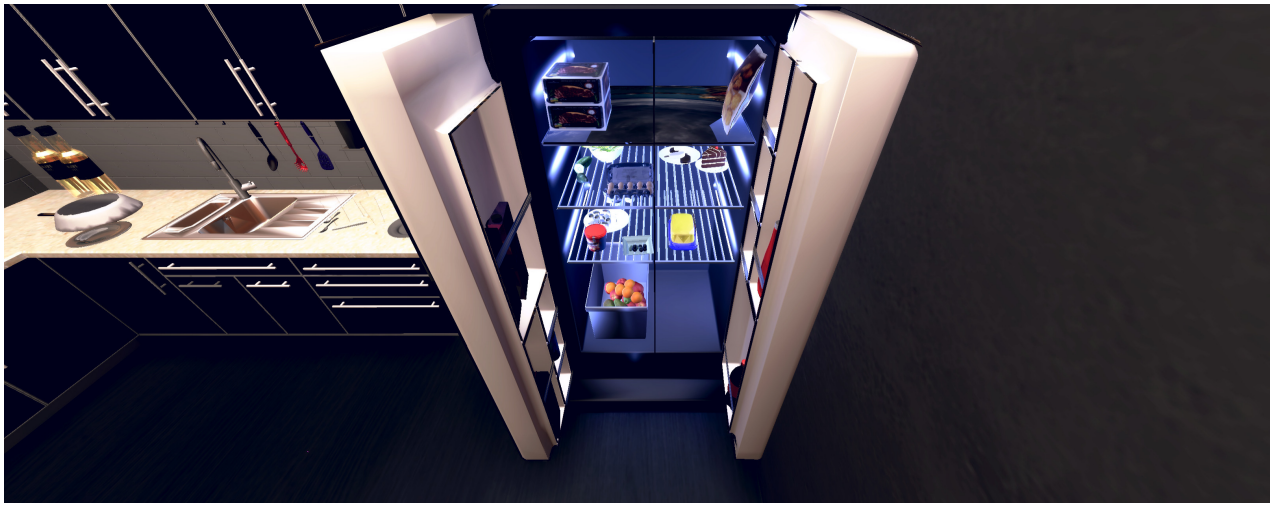
(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

FIGURE 3.13 – (a) Vue d'ensemble de la cuisine ; (b) Vue de la table avec les aliments prédisposés (1 : fromage, 2 : pain, 3 : cacahuètes, 4 : cola) ; (c) Four avec pizza ; (d) Vue du cellier ; (e) Vue d'ensemble du frigo ; (f) Vue des aliments mise à disposition pour l'apéritif dînatoire (1 : olives, 2 : saucisses snack, 3 : mini-wraps)

3.5 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté en détail la conception et le développement de l'environnement ReVBED. Nous avons commencé par discuter des origines de la réflexion qui ont conduit à la conception de cet environnement, en mettant en lumière les choix de conception qui ont été faits. Ensuite, nous avons détaillé le processus de développement de l'application, en fournissant un résumé du scénario d'exposition, les méthodes de déplacement utilisées par les utilisateurs, ainsi que les aspects techniques de développement. Nous avons également abordé la modélisation de l'environnement. Enfin, nous avons fourni des détails spécifiques sur chaque pièce d'exposition, du hall de l'immeuble à la cuisine, en mettant en évidence les caractéristiques et les éléments interactifs de chaque pièce.

Le prochain chapitre se concentre sur l'expérimentation visant à valider pré-thérapeuti-quement cet environnement. Nous examinerons comment ReVBED est utilisé dans le cadre d'une expérimentation pour évaluer son efficacité potentielle dans l'induction de craving et d'anxiété caractéristique de BN et de l'Hyperphagie Boulimique. Cette expérimentation constitue une étape cruciale dans le processus de validation de ReVBED en tant qu'outil thérapeutique.

Expérimentation visant la validation pré-thérapeutique de ReVBED

Sommaire

Objectifs de l'étude

4.1.1 Objectif principal 65

4.1.2 Objectifs secondaires 65

Hypothèses

Critères d'évaluation et mesures

4.3.1 Échelle Verbale Simple (EVS) 67

4.3.2 Questionnaires psychométriques 68

4.3.2.1 BULIT 68

4.3.2.2 EDI-2 69

4.3.2.3 DEBQ 69

4.3.2.4 MAIA 70

4.3.2.5 UPPS 70

4.3.2.6 DERS 71

4.3.2.7 YFAS 2.0 71

4.3.2.8 FCQ-T-r 73

4.3.3 Questionnaires d'évaluation de l'immersion en RV 73

4.3.3.1 SSQ 73

4.3.3.2 IPQ 74

4.3.4 Mesures Physiologiques . . . 74
4.3.4.1 VFC . . . 74
4.3.4.2 AED . . . 77
Caractérisation de la population
4.4.1 Répartition selon le genre et l'âge . . . 78
4.4.2 Nombre de sujets à inclure . . . 78
4.4.2.1 Appariement avec des sujets sains . . . 80
4.4.3 Critères d'inclusion et de non-inclusion . . . 80
4.4.3.1 Inclusion . . . 80
4.4.4 Non-inclusion . . . 81
Considérations éthiques
Données recueillies
Déroulement
4.7.1 Visite d'inclusion (J0) . . . 83
4.7.2 Visite d'expérimentation du scénario d'exposition ReVBED (J0 +7 jours à 1 mois) . . . 83
4.7.2.1 Tutoriel . . . 84
4.7.2.2 Environnement ReVBED . . . 84
4.7.2.3 Post-exposition . . . 84
Résultats
4.8.1 Données démographiques des échantillons, caractéristiques cliniques et questionnaires psychométriques . . . 85
4.8.2 Questionnaires d'évaluation de l'immersion en RV . . . 89
4.8.3 Cotations subjectives de craving . . . 90
4.8.4 Cotations subjectives d'anxiété . . . 92
4.8.5 Données physiologiques . . . 93
4.8.5.1 Analyse de l'AED . . . 93
4.8.5.2 Analyse de la VFC . . . 98

4.8.6 Corrélation entre les scores de craving et d'anxiété 102
4.8.7 Corrélation entre les différences de scores de craving/d'anxiété et les scores des questionnaires psychométriques 102
4.8.8 Corrélation entre les différences de scores de craving/d'anxiété et les scores des questionnaires d'évaluation de l'immersion en RV 103
4.8.9 Corrélation entre les différences de scores de craving/d'anxiété et les données physiologiques 103
Discussion
Limites
Conclusion

4.1 Objectifs de l'étude

4.1.1 Objectif principal

L'objectif principal de notre étude est de vérifier l'efficacité de ReVBED pour induire un craving alimentaire chez des personnes atteintes de BN ou d'hyperphagie boulimique, en comparaison avec des sujets sains, appariés sur l'âge et le niveau d'étude (voir section 4.4.2.1). Cette validation se fonde sur une mesure de référence du craving alimentaire en RV, qui consiste en une auto-évaluation par Échelle Verbale Simple (EVS) [85, 174, 114].

Notre objectif principal est donc formulé comme suit :

— **Ob_1** : caractériser le craving alimentaire induit par le scénario d'exposition ReVBED, évalué subjectivement avec une EVS, chez les patients atteints de BN ou d'hyperphagie boulimique, comparé à des sujets sains appariés.

4.1.2 Objectifs secondaires

Nous avons également défini plusieurs objectifs secondaires. Ces objectifs sont conçus pour approfondir notre compréhension des mécanismes sous-jacents au craving alimentaire et au stress chez les patients exposés au scénario ReVBED.

Premièrement, nous cherchons à caractériser les effets individuels de chacune des quatre pièces virtuelles du scénario d'exposition ReVBED sur le craving alimentaire induit, toujours *via* des évaluations par EVS. En second lieu, nous évaluons le stress induit par le scénario ReVBED dans son ensemble, ainsi que par chacune de ses pièces virtuelles. Nous explorons également la corrélation entre le craving alimentaire et le stress induits par le scénario ReVBED, comparativement à des sujets sains appariés.

En outre, nous avons aussi pour objectif d'évaluer l'influence de certaines variables psychométriques évaluées par des autoquestionnaires, sur l'intensité du craving alimentaire.

Enfin, nous examinons des marqueurs physiologiques utilisés comme marqueurs indirects et objectifs du craving, dont l'auto-évaluation reste subjective. Les variations des mesures physiologiques telles que la Variabilité de la Fréquence Cardiaque (*VFC*) [199, 52] et l'Activité ElectroDermale (*AED*) [139, 212] ont pu être associées au craving des troubles addictifs, y compris alimentaires. Nous comparerons les variations de ces 2 marqueurs chez les patients atteints de BN ou d'hyperphagie boulimique par rapport à des sujets sains

appariés, pour l'ensemble du scénario d'exposition ReVBED et pour chacune des quatre pièces d'exposition.

Les objectifs secondaires sont donc formulés comme suit :

- **Ob_2** : caractériser les effets individuels de chacune des quatre pièces d'exposition du scénario d'exposition ReVBED sur le craving alimentaire induit, évalué subjectivement avec une EVS, avant et après l'exploration de chaque pièce, chez les patients atteints de BN ou d'hyperphagie boulimique, comparé à des sujets sains appariés ;
- **Ob_3** : caractériser le stress évalué subjectivement avec l'EVS chez les patients atteints de BN ou d'hyperphagie boulimique, comparée à des sujets sains appariés :
  - **$Ob_{3.1}$** : induite par l'ensemble du scénario d'exposition ReVBED ;
  - **$Ob_{3.2}$** : induite par chacune des quatre pièces d'exposition du scénario d'exposition ReVBED ;
- **Ob_4** : caractériser la corrélation entre le craving alimentaire induit par le scénario d'exposition ReVBED et le stress induit par le scénario d'exposition ReVBED, évalués subjectivement avec une EVS, chez les patients atteints de BN ou d'hyperphagie boulimique, comparée à des sujets sains appariés ;
- **Ob_5** : comparer les évaluations subjectives du craving alimentaire induit par ReVBED avec des variables psychométriques évaluées par des autoquestionnaires ;
- **Ob_6** : comparer les évaluations subjectives du craving alimentaire induit par ReVBED avec le sentiment de présence et les potentiels effets de cybercinétose ressenti dans ReVBED, sur la base d'auto-questionnaire de phénotypage ;
- **Ob_7** : examiner les variations des mesures physiologiques (VFC et AED), utilisés comme marqueurs indirects et objectifs du craving, chez les patients atteints de BN ou d'hyperphagie boulimique, comparativement à des sujets sains appariés, pour l'ensemble du scénario d'exposition ReVBED et pour chacune des quatre pièces d'exposition.

4.2 Hypothèses

Suite à la définition des objectifs, nous émettons les hypothèses suivantes :

- **Hy_1** : les évaluations subjectives du craving alimentaire induit *via* l'exposition à l'environnement ReVBED sont significativement plus élevées chez les patients que chez les sujets sains appariés ;
- **Hy_2** : les évaluations subjectives du craving alimentaire induit par chacune des pièces d'exposition dans l'environnement ReVBED sont significativement plus élevées chez les patients que chez les sujets sains appariés ;

— **Hy_3** : les évaluations subjectives du stress induit *via* l'exposition à l'environnement ReVBED sont significativement plus élevées chez les patients que chez les sujets sains appariés ;
— **Hy_4** : les évaluations subjectives du stress induit par chacune des pièces d'exposition à l'environnement ReVBED sont significativement plus élevées chez les patients que chez les sujets sains appariés ;
— **Hy_5** : les évaluations subjectives du craving alimentaire et du stress sont positivement corrélées.

4.3 Critères d'évaluation et mesures

4.3.1 Échelle Verbale Simple (EVS)

Les mesures principales de notre études sont les EVS effectuées par auto-évaluation du craving chez les patients et les sujets sains. Cette méthode permet aux participants de s'auto-évaluer sur une échelle de 0 à 10, où 0 représente "aucun craving alimentaire ressenti" et 10 représente "craving alimentaire ressenti maximal". Pour chaque notation, la question formulée par le praticien dictant le scénario est sous la forme : "Actuellement, à combien estimez-vous votre niveau de craving, sur une échelle de 0 à 10 ?" Seuls les scores entiers sont inclus dans notre expérimentation.

Une auto-évaluation par EVS est demandée dans le hall de l'immeuble (avant la description du scénario) et après chaque visite des salles d'exposition, au retour dans le couloir principal.

A travers ces mesures, le premier critère d'évaluation est la variation du craving alimentaire mesuré par EVS avant exploration de la première pièce virtuelle d'exposition et après exploration de la dernière, chez les patients, comparativement à des témoins sains appariés. Le second sera la variation du craving alimentaire mesuré par EVS avant et après exploration de chacune des quatre pièces virtuelles d'exposition, chez les patients, comparativement à des témoins sains appariés.

Les mêmes mesures concernant le stress sont effectuées, et les mêmes critères d'évaluation sont pris en compte (variation avant la première pièce d'exposition et après la dernière, et après chaque pièce).

4.3.2 Questionnaires psychométriques

En amont de la visite d'expérimentations (jusqu'à 1 mois avant le jour de l'expérimentation), des questionnaires d'auto-évaluations sont remis à chaque participant. Des études ont, en effet, déjà souligné la pertinence des dimensions émotionnelles et comportementales impliquées dans les troubles alimentaires comme celles de Nicholls et coll. [177], de Sagui-Henson et coll. [217] ou de Dicker-Oren et coll. [75]. Dès 1995, Arnow et coll. [8] ont permis la création d'une échelle permettant d'évaluer ce comportement. Ces émotions peuvent concerner l'ennui [265], la colère et l'agressivité [247] ou la tristesse [202]. En outre, des traits de personnalité comme le perfectionnisme [5], des tendances à l'impulsivité [245], des difficultés liées aux capacités d'intéroception (notamment chez les BN) [128, 192] ont été rapportés.

Les auto-questionnaires soumis sont :

— la traduction française du "Bulimia Test" *BULIT* (témoins uniquement) ;
— la traduction française de l'"Eating Disorders Inventory 2" *EDI-2* (patients uniquement) ;
— la traduction française du "Dutch Eating Behavior Questionnaire" *DEBQ* ;
— la traduction française du "Multidimensional Assessment of Interoceptive Awareness" *MAIA* ;
— la traduction française de l'"Impulsive Behavior scale" *UPPS* ;
— la traduction française de la "Difficulties in Emotion Regulation Scale" *DERS* ;
— la traduction française de la "Yale Food Addiction Scale 2" *YFAS2.0* ;
— la traduction française du "Food Cravings Questionnaire-Trait-reduced" *FCQ-T-r*.

4.3.2.1 BULIT

Le "Bulimia Test" BULIT est un auto-questionnaire à 36 questions permettant un dépistage potentiel d'un TCA de type BN. Les questions, notées sur une échelle de 1 à 5, portent à la fois sur les préoccupations corporelles et les attitudes envers la nourriture et le corps.

Ce questionnaire est utilisé pour détecter un potentiel TCA chez les personnes témoins. Contrairement aux autres questionnaires soumis durant notre protocole (sauf le YFAS 2.0, voir 4.3.2.7), il est caractérisé par un score seuil à partir duquel un diagnostic peut être établi. Pour ce questionnaire, le diagnostic est déclarés lorsque le score égale ou dépasse 88 sur 160. Dans ce cas, le sujet ne pourra pas être inclus dans notre protocole.

La version utilisée pour notre protocole est une version française traduite en 1989 par Dugas et coll. [37] (voir Annexe A.2).

4.3.2.2 EDI-2

L'Eating Disorders Inventory 2 (EDI-2) est un questionnaire à 91 questions destiné à évaluer les attitudes, comportements et sensations liés aux conduites alimentaires. Il est considéré comme un outil de base pour l'étude des caractéristiques psychologiques des sujets présentant des TCA.

Les dimensions évaluées dans ce questionnaire sont :

— le degré d'ascétisme, c'est-à-dire la tendance à s'imposer des restrictions sévères et à nier ses propres besoins en vue d'atteindre des objectifs idéaux ;
— les comportements liés aux épisodes boulimiques ;
— le degré d'insatisfaction corporelle ;
— la capacité à reconnaître les états émotionnels et internes du corps, et à y répondre de façon appropriée ;
— la capacité à contrôler les épisodes d'impulsivité ;
— le sentiment général d'inefficacité personnelle et de manque de compétence ;
— le degré de perfectionnisme ;
— le degré de désir de minceur ;
— le désir de revenir à la sécurité de l'enfance et le refus d'acceptation de la vie adulte ;
— le degré de méfiance envers les relations avec les autres personnes ;
— le sentiment de malaise dans les situations sociales.

Ce questionnaire sera uniquement soumis aux patients de notre expérimentation, l'EDI-2 étant utilisé principalement comme outil clinique pour établir des potentiels profils psychologiques et comportementaux avec divers troubles dysfonctionnels de l'alimentation.

La version utilisée pour notre protocole est une version française traduite en 1994 par Archinard et coll. [7] (voir Annexe A.3).

4.3.2.3 DEBQ

Le Dutch Eating Behaviour Questionnaire (DEBQ) est un questionnaire à 33 questions, évaluées sur une échelle de 0 à 3, destiné à évaluer les habitudes alimentaires chez les individus. Il explore trois aspects distincts du comportement alimentaire qui sont :

— la restriction alimentaire (qui évalue dans quelle mesure une personne contrôle consciemment son alimentation pour maintenir ou perdre du poids) ;
— l'alimentation émotionnelle (qui évalue la propension d'une personne à manger en réaction à des émotions négatives telles que le stress, l'anxiété ou la tristesse) ;

— l'alimentation externe (qui évalue la sensibilité d'une personne aux stimuli externes liés à la nourriture, tels que la vue ou l'odeur de nourriture appétissante).

La version utilisée pour notre protocole est une version française traduite en 1996 par Lluch et coll. [148] (voir Annexe A.4). Ce questionnaire, bien qu'orienté vers des profils pathologiques, est aussi soumis aux témoins et ne fait pas l'objet d'un diagnostic pouvant exclure certains sujets.

4.3.2.4 MAIA

Le Multidimensional Assessment of Interoceptive Awareness (MAIA) est un questionnaire à 32 questions, évaluées sur une échelle de 0 à 5, conçu pour évaluer la conscience intéroceptive multidimensionnelle, qui fait référence à la capacité d'un individu à percevoir et reconnaître les signaux physiologiques provenant de son propre corps (tels que la respiration, la fréquence cardiaque et les sensations gastro-intestinales). Il mesure différents aspects de la conscience intéroceptive :

— la capacité à ne pas tenir compte ou à se distraire des sensations de douleur ou d'inconfort (item noté "Not-Distracting :") ;
— la conscience de ses propres sensations corporelles, qui peuvent être inconfortables, confortables ou neutres (item noté "Noticing :") ;
— la tendance à ne pas s'inquiéter ou à ne pas ressentir de détresse émotionnelle face aux sensations de douleur ou d'inconfort (item noté "Not-Worrying") ;
— la capacité à maintenir et contrôler l'attention portée à ses sensations corporelles (item noté "Attention Regulation") ;
— la conscience de la relation entre ses sensations corporelles et ses états émotionnels (item noté "Emotional Awareness") ;
— la capacité à réguler la détresse émotionnelle en se focalisant sur les sensations corporelles (item noté "Self-Regulation :") ;
— la capacité d'écoute corporelle de façon attentive et précise (item noté "Body Listening") ;
— dans quelle mesure la perception de son propre corps est vue comme une source d'information sûre et digne de confiance sur son bien-être (noté "Trusting").

La version utilisée pour notre protocole est une version française traduite par Similowski et Laviolette [229] (voir Annexe A.5).

4.3.2.5 UPPS

L'Impulsive Behavior Scale (UPPS) est un questionnaire à 45 questions, évaluées sur une échelle de 1 à 4, utilisé pour évaluer différents aspects des comportements impulsifs chez

les individus. Il a été développé pour mesurer cinq dimensions spécifiques de l'impulsivité :

— l'urgence (évalue la tendance d'une personne à réagir impulsivement aux émotions fortes) ;
— le manque de préméditation (incapacité à réfléchir avant d'agir) ;
— la recherche de sensations (recherche délibérée de sensations excitantes ou de nouvelles expériences) ;
— le manque de persévérance (évalue la propension à persévérer face à une tâche pouvant être difficile ou peu attrayant).

La version utilisée pour notre protocole est une version française traduite par Vander-Linden et coll. [253] (voir Annexe A.6).

4.3.2.6 DERS

Le Difficulties in Emotion Regulation Scale (DERS) est un questionnaire à 36 questions, évaluées sur une échelle de 1 à 5, conçu pour évaluer les défis auxquels un individu fait face dans la régulation de ses émotions. Ce questionnaire comprend plusieurs sous-échelles, chacune visant à évaluer des aspects spécifiques de la régulation émotionnelle :

— l'incapacité à accepter les réponses émotionnelles (mesurant la tendance à résister ou à ne pas accepter ses émotions négatives) ;
— les difficultés à maintenir un comportement orienté vers des objectifs (évaluant la capacité à rester concentré sur les tâches ou les situations malgré les émotions perturbatrices) ;
— le manque de conscience émotionnelle (évaluant la capacité à identifier et comprendre ses émotions) ;
— le manque de clarté émotionnelle (évaluant l'incompréhension des émotions)
— les difficultés de contrôle des impulsions (évaluant les difficultés à contrôler les impulsions liées aux émotions) ;
— la perception d'un accès limité aux stratégies de régulation émotionnelle (évaluant la perception d'un individu quant à l'absence ou à l'incapacité à utiliser des stratégies efficaces pour réguler les émotions).

La version utilisée pour notre protocole est une version française traduite en 2013 par Cote et coll. [65] (voir Annexe A.7).

4.3.2.7 YFAS 2.0

La Yale Food Addiction Scale 2 (YFAS 2.0) est un questionnaire à 35 questions, évaluées sur une échelle de 0 à 7, permettant d'évaluer l'hypothèse selon laquelle certains aliments

issus d'un processus de transformation et hautement calorifiques pourraient déclencher un processus addictif chez certaines personnes, notamment ceux souffrant d'un TCA.

Le YFAS 2.0 est divisé en 2 étapes d'évaluation :

- la première concerne l'évaluation des symptômes addictifs suivants :
  - la nécessité de consommer des aliments transformés pour ressentir une satisfaction alimentaire ;
  - la tendance à consommer de grandes quantités d'aliments sur une durée prolongée ;
  - les tentatives d'effort destinées à limiter la consommation d'aliments transformés ;
  - le temps et l'énergie consacrée à l'achat, la consommation et à la récupération après la consommation d'aliments transformés ;
  - l'abandon d'activité sociale ou professionnelle liée à la consommation d'aliments transformés ;
  - la poursuite de consommation d'aliments transformés malgré les conséquences néfastes connues sur la santé physiques et psychiques qu'elle peut engendrer ;
  - la poursuite de consommation d'aliments transformés malgré les conséquences néfastes connues sur les problèmes sociaux et interpersonnels qu'elle peut engendrer ;
  - la présence de réactions physiques émotionnelles non désirées lors de la réduction de consommation d'aliments transformés ;
  - la non-réalisation d'obligations vitales ou majeures liée à la consommation d'aliments transformés ;
  - la poursuite de consommation d'aliments transformés malgré une altération physique dangereuse et avérée ;
  - la poursuite de consommation d'aliments transformés malgré une altération émotionnelle et psychologique dangereuse et avérée ;
  - l'intensité des épisodes de craving.
- la seconde concerne un diagnostic dichotomique : si au moins 3 des symptômes susmentionnés ont un score dépassant un seuil significatif (qui dépend des symptômes), et si une altération cliniquement significative ou une détresse associée aux symptômes est détectée, alors l'individu est considéré comme répondant aux critères de dépendance alimentaire de ces symptômes. Tout comme le DEBQ, ce questionnaire est aussi soumis aux témoins et ne fait pas l'objet d'un diagnostic pouvant exclure certains sujets.

La version utilisée pour notre protocole est une version française traduite en 2014 par

Brunault et coll. [42] (voir Annexe A.8).

4.3.2.8 FCQ-T-r

Le Food Cravings Questionnaire-Trait-reduced (FCQ-T-r) est un questionnaire d'évaluation à 15 questions, évaluées sur une échelle de 1 à 5, issu du Food Cravings Questionnaire-Trait (FCQ-T) qui permet une évaluation rapide des comportements associés à des épisodes de craving chez un individu. L'évaluation se fait sur la base d'un score total calculé avec les scores de chaque question.

A noter que ce questionnaire est soumis aux participants le jour J de sa participation.

La version utilisée pour notre protocole est une version française traduite en 2018 par Brunault et coll. [43] (voir Annexe A.9).

4.3.3 Questionnaires d'évaluation de l'immersion en RV

Pour évaluer les expériences des participants dans l'environnement virtuel, deux questionnaires sont soumis à la fin de l'expérimentation après l'expérience RV. Ces questionnaires sont :

— la version franco-canadienne du "Simulator Sickness Questionnaire" (*SSQ*) ;
— la version française du "Igroup Presence Questionnaire" (*IPQ*).

4.3.3.1 SSQ

Le Simulator Sickness Questionnaire (SSQ) est un questionnaire d'auto-évaluation de 16 questions, notées de 1 à 4, destiné à mesurer les symptômes subjectifs ressentis par les individus après avoir été exposés à un simulateur, jeux vidéo, ou environnements virtuels. Les symptômes étudiés sont les suivants :

— les potentiels symptômes de nausée. Les items de cette sous-échelle incluent des questions sur la sensation de malaise gastrique, d'envie de vomir, et autres symptômes de malaise digestif ;
— les potentiels troubles occulomoteurs, évalués par des questions portant sur la fatigue, les flous de vision, les vertiges, ou encore les étourdissements.

La version utilisée pour notre protocole est une version française traduite par Bouchard et coll. [35, 34, 36] (voir Annexe A.10).

4.3.3.2 IPQ

L'"Igroup Presence Questionnaire" (IPQ) est un questionnaire de 14 questions, notées de -3 à 3, qui évalue le sentiment de présence dans un environnement en RV à travers 4 dimensions :

— le sentiment général de présence ;
— le sentiment d'être physiquement présent dans l'environnement en RV ;
— le degré d'implication dans l'environnement en RV ;
— le réalisme perçu dans l'environnement en RV.

La version utilisée pour notre protocole est une version française traduite depuis la version de Viaud [256] (voir Annexe A.11).

4.3.4 Mesures Physiologiques

4.3.4.1 VFC

La VFC est estimée *via* la mesure des fluctuations cycliques d'intervalles R-R enregistrés sur un tracé en ÉlectroCardioGraphie (*ECG*). Cet intervalle correspond à la mesure de temps entre deux ondes R électrocardiographiques consécutives (voir Fig. 4.1).

Le capteur est relié à une tablette permettant le recueil des données et leur exploitation par le logiciel HRVanalysis1.0 [186]. Une analyse spectrale *via* une transformée de Fourier rapide permet de discriminer notamment les hautes fréquences (HF = 0,15 à 0,50Hz), indicateurs des activités parasympathiques du SNA.

Les électrodes d'enregistrement (fréquence d'acquisition = 1 Hz) sont positionnées sur la poitrine du participant, au niveau du 4ème espace intercostal, à gauche et à droite du sternum. Elles sont reliées à un enregistreur d'électrocardiogramme Neurocoach® Bluetooth de Life Medical Control© (Saint-Étienne, France). L'ECG est enregistré et visible en temps réel avec ANS Analysis Professional® (voir Fig. 4.2).

Les mesures étant également effectuées durant la phase de repos (voir section 4.7.2.1), les moyennes de mesures faites pour chaque pièce seront corrigées en fonction de la moyenne calculée sur la phase de repos, et ce pour chaque participant.

Une représentation de l'évolution de l'intervalle de temps R-R (intervalle entre deux ondes R électrocardiographiques consécutives, aussi appelé intervalle impulsion-impulsion), pour 2 sujets patients et 2 sujets témoins, est visible dans les Fig. 4.8a, 4.8b, 4.8c et 4.8d

En ce qui concerne l'analyse de la fréquence cardiaque, l'analyse fréquentielle est parfois préférée par rapport à l'analyse temporelle en ce sens qu'elle peut fournir des informations

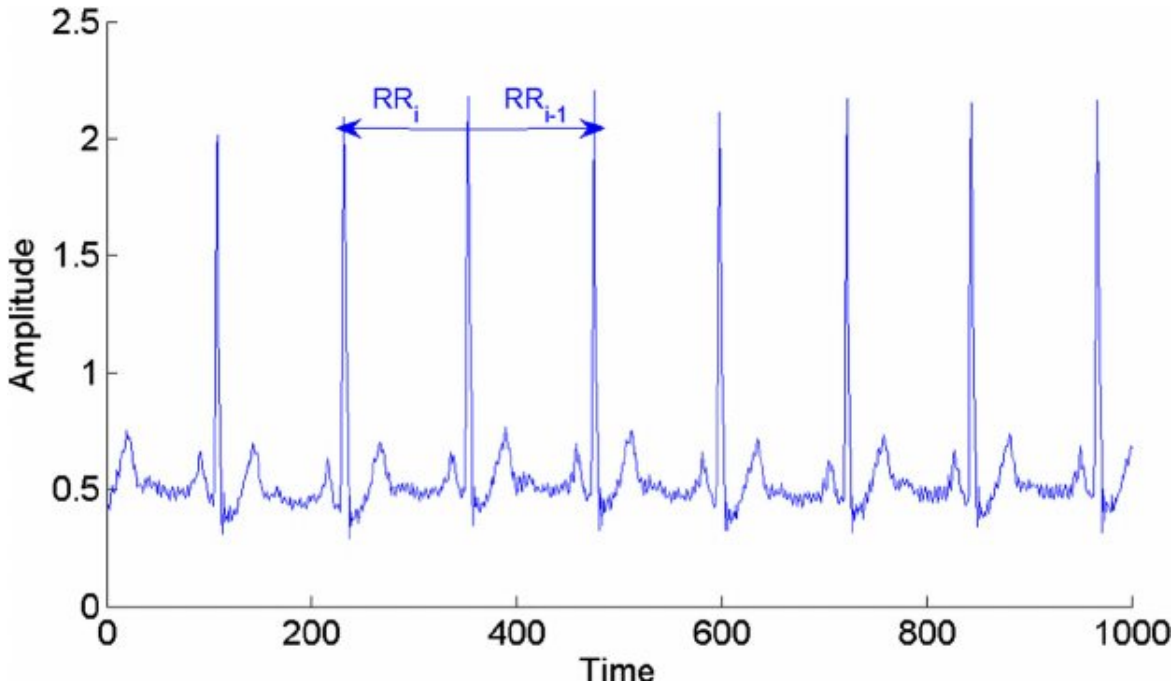


FIGURE 4.1 – Représentation graphique des intervalles RR détectés à partir d'un signal ECG. Extrait de [54].

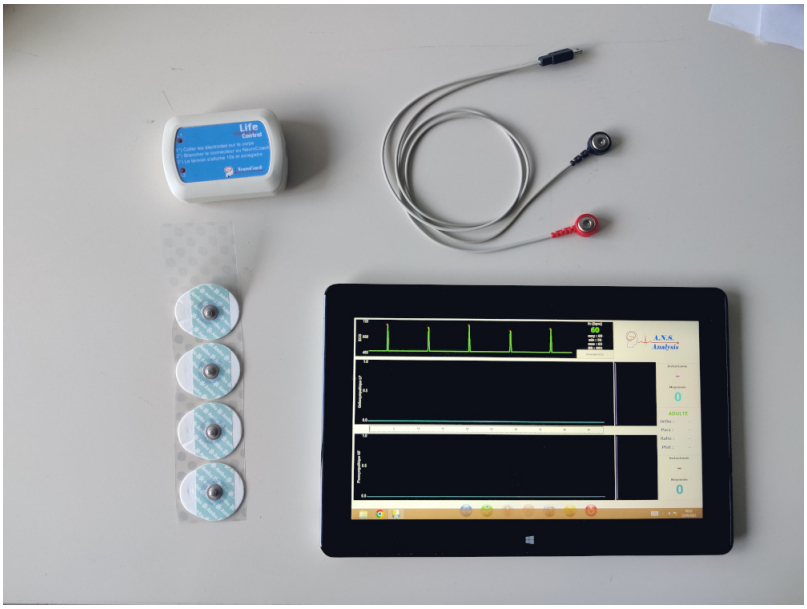


FIGURE 4.2 – Vue d'ensemble du matériel utilisé pour la mesure de la VFC : électrodes et câbles, boîtier Bluetooth, tablette avec ANS Analysis Professional®

plus détaillées [23]. Nous nous sommes donc penchés sur cette approche. L'analyse en transformée de Fourier par HRVAnalysis permet de révéler la Densité Spectrale de Puissance (*DSP*) du signal mesuré. La répartition de la bande passante permet, entre autres, d'obtenir la puissance spectrale :

- des basses fréquences (Low Frequency (*LF*)), associées à l'activité des barorécepteurs (contrôle sympathique sur la modulation parasympathique cardiaque [272]) ;
- des hautes fréquences (High Frequency (*HF*)), associées à l'activité parasympathique du Système Nerveux Autonome (SNA) [272, 105, 225].

Le ratio LF/HF exprime donc la balance sympathovagale du SNA [44]. L'interprétation de cet indicateur est pourtant sujet à débat : en cause, la bande LF est le résultat à la fois de l'activité parasympathique et sympathique [105]. Des études comme celle de Billman et coll. [24] incitent donc à une modération quant à l'utilisation et à l'interprétation du ratio LF/HF sur l'équilibre sympathovagale. Les analyses présentées dans la section 4.8.5.2 seront donc tournées vers la puissance spectrale des HF.

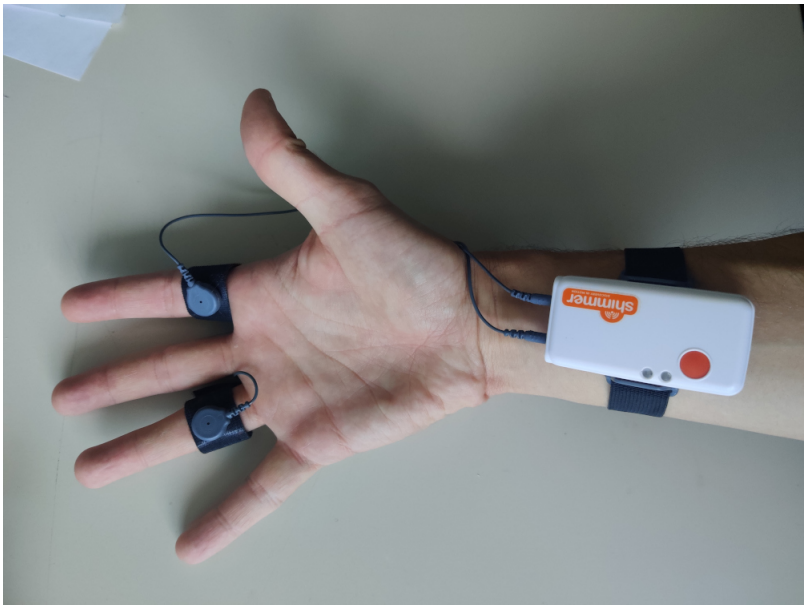


FIGURE 4.3 – Vue d'ensemble du matériel utilisé pour la mesure de l'AED : électrodes avec câble, boîtier Bluetooth

4.3.4.2 AED

L'AED est estimée *via* des mesures de conductance cutanée par amplification des différences de potentiel entre deux électrodes en contact avec la peau du sujet. Les moyennes des valeurs (exprimées en µS) de chaque participant aux différents temps d'enregistrement. Les électrodes cutanées galvaniques étaient positionnées sur la phalange proximale de l'index et de l'annulaire du participant. Elles étaient reliées à une station Bluetooth Shimmer Consensys®. Les données ont été enregistrées et visualisées en temps réel avec Consensys v1.6.0® (fréquence d'acquisition = 128 Hz) (voir Fig. 4.3).

Tout comme les mesures de VFC, les moyennes de ces mesures pour chaque pièce seront ajustées en fonction de la moyenne calculée pendant la phase de repos, et ce pour chaque participant.

4.4 Caractérisation de la population

4.4.1 Répartition selon le genre et l'âge

Bien que la majeure partie de la littérature soutient que les TCA touchent davantage les femmes [118], la disparité des différences entre les sexes signalées dans la littérature dépend des symptômes étudiés. La littérature se concentrant sur les chiffres européens indique des taux de prévalence H/F de 1/10 pour la BN ainsi que des taux plus modérés pour l'hyperphagie boulimique, allant entre 1/2 et 1/6 [230, 51, 71, 218]. L'étude de 2007 de Hudson et coll. indique une incidence maximale chez les 15-19 ans pour la BN [118] avec une évolution sur en moyenne 8,3 ans. L'hyperphagie boulimique apparaît généralement plus tard, à l'âge adulte (21-22 ans), avec une durée moyenne de 8,1 ans. L'étude de Mistelin et coll., effectuée sur une population finlandaise [173], rapporte un âge moyen de début des symptômes à 19 ans, mais une durée d'évolution plus longue, de 13 ans.

En conséquence, nous avons décidé de réaliser les tests uniquement avec des femmes. Aucun pré-requis au niveau de l'âge n'a limité le recrutement des participants.

4.4.2 Nombre de sujets à inclure

L'étude de Pla-Sanjuanelo et coll. [190], qui évalue la possibilité d'induction en environnement virtuel de craving alimentaire et de stress, annonce une différence significative entre les moyennes des auto-évaluations de patients et de témoins sains de 21 points sur 100 (moyennes respectives : pour le craving, 73,28 (σ=19,91) pour le groupe patient et 52,03 (σ=22,89) pour le groupe témoin ; pour le stress, 69,22 (σ=25,13) pour le groupe patient et 19,65 (σ=20,99) pour le groupe témoin).

Le nombre de sujet nécessaire (*HF*) par groupe équilibré, dans le cas d'une étude comparant les moyennes de 2 populations, est donné par la formule :

$$n_1 = n_2 = \frac{2 \times \sigma^2 \times (Z_{\alpha/2} + Z_\beta)^2}{(\mu_1 - \mu_2)^2}$$

.

où :

— n est la taille d'échantillon par groupe ;
— σ^2 est l'estimation de la variance commune (ou la variance de chaque groupe si elles sont supposées égales) ;

— $Z_{\alpha/2}$ est le score z correspondant au niveau de confiance désiré pour le test ;
— Z_{β} est le score z correspondant à la puissance souhaitée du test ;
— $(\mu_1 - \mu_2)$ est la différence minimale entre les moyennes des deux populations que l'on souhaite détecter.

On se place dans le cas d'un test unilatéral, avec les hypothèses suivantes :

— $\begin{cases} H_0 : \text{Il n'y a pas de différence significative entre les moyennes des différences de scores de craving avant et après l'exploration de l'environnement ReVBED, entre le groupe témoin et le groupe patient ;} \\ H_1 : \text{La moyenne des différences de scores de craving avant et après l'exploration de l'environnement ReVBED est plus élevée dans le groupe patient que dans le groupe témoin.} \end{cases}$

On fixe un niveau de confiance à 95 % (risque de 5 %). $Z_{\alpha/2}$ est calculé en fonction de cette valeur. Pour un test unilatéral avec un risque de 5 %, le niveau de signification α est divisé par deux, car tout le risque est concentré dans une seule partie de la distribution. Par conséquent, pour un test unilatéral : $\alpha_{\text{unilatéral}} = \frac{\alpha}{2}$. Pour un risque de 5 %, le niveau de signification α est de 0.05. Donc, pour un test unilatéral, $\alpha_{\text{unilatéral}} = \frac{0{,}05}{2} = 0,025$. La valeur de Z correspondant à ce niveau de signification $\alpha_{\text{unilatéral}}$ peut être trouvée dans une table de valeurs Z. Pour un risque de 5 % dans une queue de la distribution, la valeur de Z correspondante est approximativement $Z_{0,025} \approx 1,96$. Ainsi, on utilisera $Z_{\alpha/2} = 1,96$.

La valeur de Z_{β} pour une puissance de 90 % (ou une probabilité de $1 - \beta = 0,90$) peut être trouvée en utilisant également une table de valeurs Z. Ainsi, la valeur de Z_{β} correspondant à une probabilité cumulée de 0,90 est d'environ $Z_{0,10} \approx 1,28$. On utilisera donc $Z_{\beta} = 1,28$.

La valeur de σ^2 est une variance commune, dont la formule de calcul est basée sur la méthode de la variance combinée des informations provenant des deux populations. Elle se définit par :

$$\sigma^2 = \frac{(\sigma_1^2 \times (n_1 - 1)) + (\sigma_2^2 \times (n_2 - 1))}{n_1 + n_2 - 2}$$

où :

— σ^2 est l'estimation de l'écart-type commun ;
— σ_1^2 et σ_2^2 sont les variances des deux populations ;
— n_1 et n_2 sont les tailles d'échantillon des deux populations.

En utilisant les valeurs de l'étude de Pla-Sanjuanelo et coll. [190] :
— $\sigma_1 = 19,91$, avec un échantillon $\quad n_1 = 58$

— $\sigma_2 = 22,89$, avec un échantillon $n_2 = 135$
l'écart-type commun (σ^2) se calcul comme suit :

$$\sigma^2 = \frac{19,91^2 \times (58-1) + 22,89^2 \times (135-1)}{58+135-2}$$

$$\sigma^2 \approx 592,36$$

On utilisera donc $\sigma^2 = 592,36$.

En remplaçant les valeurs pour calculer le nombre de sujets nécessaires NSN :

$$n_1 = n_2 = \frac{2 \times 592,36 \times (1,96+1,28)^2}{(73,28-52,03)^2}$$

$$n_1 = n_2 \approx 27,38$$

Le NSN par groupe est donc d'environ 27,38, ce qui donne 28 arrondi à l'entier supérieur. Comptant une marge suffisante à prévenir notre analyse d'éventuels arrêts/données manquantes pour problèmes techniques et/ou mauvaise tolérance du scénario en RV, nous définissons notre NSN de 30 participants par groupe.

4.4.2.1 Appariement avec des sujets sains

Les patients et les témoins sont appariés sur l'âge (± 5 ans) et le niveau de scolarité (nombre d'années de scolarisation après le CP ± 2 ans).

4.4.3 Critères d'inclusion et de non-inclusion

4.4.3.1 Inclusion

Pour être inclus dans ce protocole, le participant doit :

— être une femme âgée de plus de 18 ans ;
— être affilié ou avoir droit au régime de sécurité sociale ;
— avoir donné son consentement éclairé avant la participation à l'étude.

La participante patiente doit répondre au diagnostic de TCA de type BN ou de type hyperphagie boulimique, selon les critères du DSM-5. La participante témoin doit être appariée à l'une des participante patiente, sur l'âge (± 5 ans) et le niveau de scolarité (nombre d'années de scolarisation après le CP ± 2 ans).

4.4.4 Non-inclusion

La participante ne peut être inclus si elle :

— témoigne d'une maîtrise de la langue française insuffisante pour répondre aux auto-questionnaires nécessaires à l'étude ;
— est sous mesure de protection juridique (tutelle, curatelle ou sauvegarde de justice) ;
— est diagnostiqué avec un(e)/des pathologie(s) et/ou trouble(s) somatique(s) (e.g. trouble cardiovasculaire) et/ou psychiatrique(s) (e.g. crise suicidaire) non stabilisé(s) et/ou requérant des soins urgents et/ou un diabète (y compris stabilisé) ;
— a des antécédents de crise(s) d'épilepsie photosensible (déclaratif) ;
— a un traitement en cours d'instauration et/ou non stabilisé (déclaratif), et pouvant altérer les données physiologiques relevées et les réponses aux auto-questionnaires (notamment et selon la littérature : antihypertenseurs depuis moins de 14 jours à date de convocation pour expérimentation ; antipsychotiques, alpha/bêtabloquants quelle que soit la durée) ;
— a un ou plusieurs déficit(s) ou trouble(s) sensoriel(s) incompatible(s) avec l'utilisation du matériel de RV (déclaratif) ;
— a un ou des trouble(s) de l'usage de substance(s), selon les critères du DSM-5, sauf : nicotine ;
— est enceinte ou allaitante.

La participante patiente ne peut être inclue si elle a déjà bénéficié ou bénéficie d'une prise en charge spécifique ciblant le craving alimentaire. La participante témoin ne peut être inclue si elle obtient un score supérieur ou égal à 88 au Bulimia Test (BULIT) (score > 88) (voir section 4.3.2.1).

4.5 Considérations éthiques

Le protocole est en conformité avec les principes d'éthique établis par la 18ème Assemblée Médicale Mondiale (Helsinki 1964) et par les amendements établis lors des 29ème (Tokyo 1975), 35ème (Venise 1983), 41ème (Hong Kong 1989), 48ème (Somerset West 1996), 52ème (Edinburg 2000), 53ème (Washington 2002), 55ème (Tokyo), 59ème (Seoul) et révisée lors de la 64ème Assemblée Médicale Mondiale (Fortaleza, Brésil, Octobre 2013). Il a été conduit conformément aux recommandations ICH de Bonnes Pratiques Cliniques.

Aucun acte invasif et aucun produit ne sont administrés dans le cadre de cette étude. Le risque principal est l'induction d'un craving alimentaire important chez une patiente

lors de l'exploration en RV. Dans ce cas, un temps de relaxation guidée et une collation sont prévus avant le départ de la participante.

Notre étude, menée dans le cadre d'une expérimentation clinique, a été approuvée par le comité d'éthique local (CPP Sud Méditerranée I) et enregistrée dans une base de données d'essais cliniques (Identifiant ClinicalTrials.gov : NCT05385653). Cette étape est essentielle pour garantir que la recherche respecte les principes éthiques fondamentaux, notamment ceux énoncés dans la Déclaration d'Helsinki. De plus, notre étude est enregistrée dans une base de données d'essais cliniques reconnue internationalement, ClinicalTrials.gov, ce qui permet la traçabilité et la transparence des études cliniques. Enfin, toutes les participants ont été pleinement informées des objectifs, des procédures et des risques éventuels de l'étude, et elles ont donné leur consentement éclairé par écrit avant leur participation, conformément aux normes éthiques et déontologiques en vigueur dans la recherche médicale.

.

4.6 Données recueillies

Les informations recueillies dans le cadre de cette étude sont les suivantes :

- données démographiques (âge, niveau de scolarité) et coordonnées (numéro de téléphone, adresses postale et e-mail). A noter que les coordonnées sont anonymisées ;
- données cliniques pertinentes à l'étude : tabagisme actif (oui/non), traitements en cours, antécédents de prise en charge du craving alimentaire (patientes uniquement), prise en charge actuelle (patientes uniquement) ;
- auto-questionnaires individuels remplis : traduction française du BULIT (témoins uniquement), traduction française de l'EDI-2 (patientes uniquement), traduction française du DEBQ, traduction française de la MAIA, traduction française de l'UPPS, traduction française de la DERS, traduction française du FCQ-T-r, traduction française de la YFAS 2.0, traduction française du SSQ, traduction française de l'IPQ ;
- cotations orales individuelles par EVS de l'intensité du craving alimentaire et de l'anxiété ressentis avant l'exploration de la 1ère pièce et après exploration de chacune des quatre pièces d'exposition ;
- données physiologiques individuelles : mesures de la VFC, mesures de l'AED, collectées avant immersion en réalité virtuelle au repos puis avant l'exploration de la 1ère pièce et après exploration de chacune des quatre pièces d'exposition.

4.7 Déroulement

4.7.1 Visite d'inclusion (J0)

Une première entrevue est d'abord planifiée afin de vérifier les critères d'éligibilité et d'informer la participante sur le but et le déroulement de l'expérimentation. Un consentement écrit lui est ensuite remis, ainsi que les questionnaires de phénotypage.

L'expérimentateur informe également des consignes de préparation à l'expérimentation du scénario en RV permettant la reproductibilité des conditions et mesures, selon les données de la littérature sur les modalités pratiques d'exploration du craving alimentaire en condition de laboratoire et en RV [263, 236, 235, 100, 126] :

- la participante devra se présenter 2 heures après sa dernière prise alimentaire et sans avoir réalisé d'activité physique inhabituelle ;
- cette prise alimentaire devra consister en un petit-déjeuner ou déjeuner léger en fonction de l'heure de la convocation ;
- si l'évaluation préalable à l'utilisation de ReVBED rapporte un état de craving alimentaire supérieur à 5/10, une collation légère sera proposée 15 minutes avant l'expérimentation du scénario ;
- pour garantir l'intégrité de l'expérience, il est essentiel qu'elle se déroule dans un contexte où la participante n'éprouve pas de besoin de nicotine. Ainsi, si nécessaire, le sujet pourra fumer ou s'équiper d'un patch nicotinique avant la visite.

4.7.2 Visite d'expérimentation du scénario d'exposition ReVBED (J0 +7 jours à 1 mois)

La visite d'inclusion est programmée entre une semaine et un mois après le jour de la première rencontre.

Un recueil des données socio-démographiques (âge, niveau de scolarité) ainsi que des données cliniques pertinentes à l'étude (tabagisme actif, traitements en cours ; ou patientes uniquement : informations liées aux troubles alimentaires) est également réalisé. La participante doit aussi remplir le FCQ-T-r.

L'un des expérimentateurs présente ensuite le matériel de RV (casque et contrôleurs) ainsi que les capteurs permettant la mesure des données physiologiques recueillies tout au long de l'expérimentation en RV (VFC : électrodes cutanées ECG standard et boîtier d'enregistrement sans fil dédié ; AED : électrodes cutanées digitales et boîtier d'enregistrement sans fil dédié).

Pendant l'expérimentation en RV, un troisième expérimentateur assurera le relevé écrit des autoévaluations et sera également garant de la sécurité physique de la participante pendant son immersion en RV et dans son évolution libre à travers la pièce.

4.7.2.1 Tutoriel

Après le démarrage des enregistrements, le premier environnement diffusé à la participante est l'environnement SteamVR™ Home appelé "Summit Pavillon", qui est utilisé comme tutoriel en RV. La participante est donc amenée à effectuer des déplacements libres et des téléportations, de prendre et relâcher des objets. Ensuite, nous avons demandé à la participante de s'asseoir tout en conservant le casque et tout en continuant la diffusion de l'environnement "Summit Pavillon" (une chaise lui est apportée) pendant 5 minutes : cette phase de l'expérience permet de mesurer la fréquence VF et l'AED pendant un état non opératoire, dit basal. Ces mesures seront comparées à celles effectuées dans l'environnement ReVBED. A la suite des 5 minutes, la participante est amené à se relever (la chaise est retirée).

4.7.2.2 Environnement ReVBED

Ensuite, l'environnement ReVBED est diffusé à la participante. Elle est accompagné par l'un des expérimentateurs, une infirmière thérapeute, qui la guide à travers le scénario d'exposition en utilisant un microphone. Avant d'explorer la première pièce d'exposition et au retour de chacune des pièces d'exposition, la personne en charge de guider la participante a posé les questions suivantes :

- *actuellement, à combien estimez-vous votre niveau de craving, sur une échelle de 0 à 10 ?*
- *actuellement, comment estimez-vous votre niveau d'anxiété, sur une échelle de 0 à 10 ?*

Le terme "craving" a, au, préalable été clairement expliqué à chaque participante lors de la première évaluation, en le différenciant d'une simple envie de manger ou sensation de faim.

4.7.2.3 Post-exposition

Après avoir exploré les 4 pièces virtuelles, l'environnement "Summit Pavillon" est de nouveau affiché. La participante est invitée à prendre quelques respirations dans le cadre d'un moment de relaxation.

Ensuite, la fin de l'immersion en RV est déclarée. L'expérimentateur retire l'équipement de RV et les capteurs physiologiques à la participante. Un débriefing sur les sensations des participantes est enregistré en vidéo. Ce dernier est guidé par des questions prédéterminées sur les sensations globales, les éléments qui ont attiré l'attention de la participante et les moments où la participante a ressenti de l'anxiété ou des difficultés à réaliser les tâches attendues. Ensuite, le SSQ et l'IPQ sont remis à la participante.

Si nécessaire, une collation est offerte à la participante et un moment de relaxation guidée peut être proposé. Ensuite, nous avons considéré l'expérience comme terminée.

L'étude ne nécessitait aucune forme de suivi : la fin de la participation à l'étude correspond à la fin de la visite d'expérimentation ReVBED.

4.8 Résultats

4.8.1 Données démographiques des échantillons, caractéristiques cliniques et questionnaires psychométriques

Une description des caractéristiques sociodémographiques et de l'IMC des participante est présentée dans le Tab. 4.1. Sur les 30 patientes, 8 (26,67 %) avait un diagnostic de BN et 22 (73,33 %) avait un diagnostic d'hyperphage. Les informations sur le poids manquaient pour une patiente. 7 patientes et 2 sujets témoins étaient fumeuses, et 9 patientes étaient sous traitement lors de leurs expérimentations.

		Patiente	***Témoin***	***Mann-Withney (U) ou T-Test (T)***		
		Moyenne (écart-type)		*U/T*	*p*	*Taille d'effet*
Données cliniques	*Âge*	31,43 (12,53)	32,37 (12,32)	419	0,65	0,070
	IMC (kg/m²)	32,11 (9,53)	23,33 (5,13)	-1,58	**0,0034****	-0,41
	Nb années étude après CP	13,97 (1,96)	14,80 (2,06)	8,56	0,12	0,15

TABLE 4.1 – Résultats des données cliniques des participantes et des tests de comparaisons entre le panel patient et témoin. Légende : <0,01 '**'

[†]Un T test a été utilisé pour la comparaison du niveau d'éducation. Pour les autres questionnaires, des tests de Mann-Whitney U ont été utilisés.

Nous avons effectué un test U de Mann-Whitney pour les comparaisons d'âge et un test T pour le niveau d'éducation. Ils n'ont pas révélé de différences significatives entre les patientes et les témoins, indiquant une correspondance correcte entre elles en termes

d'âge et de niveau d'éducation. Un test U de Mann-Whitney a également été réalisé sur les indices de masse corporels (IMC) des deux groupes. Il révèle une différence significative, les patientes ayant un IMC plus élevé que les témoins.

Nous avons également réalisé des tests U de Mann-Whitney ou des tests de Kruskal-Wallis (selon qu'il y ait une différence ou non dans les tailles d'échantillon à comparer) pour évaluer les différences de scores de chaque sous-échelle des questionnaires psychométriques. Les résultats sont présentés dans les Tab. 4.2 et 4.3.

		Patient	***Témoin***	***Mann-Withney (U) ou Kruskal-Wallis (K) test***		
		Moyenne (écart-type)		U/χ^2	*p*	*Taille d'effet*
BULIT	*Score (/160)*		52,83 (11,66)			
EDI-2	*Ascétisme (/24)*	8,30 (3,48)				
	Comportements boulimiques (/21)	4,43 (2,82)				
	Insatisfaction corporelle (/24)	6,23 (2,30)				
	Reconnaissance états émotionnels (/27)	5,63 (3,25)				
	Contrôle d'impulsivité (/33)	14,40 (5,66)				
	Sentiment d'inefficacité (/30)	7,20 (2,82)				
	Perfectionnisme (/18)	3,57 (3,11)				
	Désir de minceur (/18)	3,33 (2,04)				
	Désir de revenir à l'enfance (/24)	8,30 (3,35)				
	Méfiance sociale (/21)	7,13 (1,46)				
	Malaise dans situations sociales (/24)	7,80 (1,49)				
DEBQ	*Emotional eating (/65)*	53,40 (10,30)	32,50 (11,00)	81,50	**<0,00001******	0,82
	Restrained eating (/50)	32,60 (10,00)	24,00 (9,03)	234,00	**0,0014****	0,48
	External eating (/50)	35,80 (5,26)	27,00 (4,77)	96,50	**<0,00001******	0,79
YFAS 2.0	*Diagnostique établi*	22 dépendants alimentaire fort 5 non dépendants	1 dépendant alimentaire moyen 25 non dépendants			
FCQ-T-t	*Score (/90)*	54,80 (23,30)	29,80 (13,10)	18,70	**0,000015*****	0,32

TABLE 4.2 – Résultats des données des questionnaires psychométriques relatifs au comportement alimentaire et des tests de comparaisons entre le panel patient et témoin. Légende : <0,00001 '****', <0,001 '***', <0,01 '**'

†Un test de Kruskal-Wallis a été utilisé pour la comparaison des scores du FCQ-T-r. Pour les autres questionnaires, des tests de Mann-Whitney U ont été utilisés.

		Patient	***Témoin***	***Mann-Withney (U)ou Kruskal-Wallis (K) test***		
		Moyenne (écart-type)		$U/T/\chi^2$	p	*Effect size*
MAIA	*Noticing Mean Score*	3,32 (0,94)	3,51 (0,78)	0,97	**0,36**	0,017
	Not distracting Mean Score	2,25 (0,98)	2,26 (0,82)	0,12	**0,73**	0,0021
	Not worrying Mean Score	2,71 (1,16)	2,94 (0,87)	0,66	**0,41**	0,012
	Attention regulation Mean Score	2,25 (0,81)	3,22 (0,72)	16,32	**0,000054******	0,29
	Emotional awareness Mean Score	3,31 (1,02)	3,53 (0,98)	0,39	**0,53**	0,0069
	Self-Regulation Mean Score	1,67 (0,89)	3,23 (0,86)	27,50	**<0,00001******	0,48
	Body Listening Mean Score	1,25 (0,85)	2,83 (1,10)	24,02	**<0,00001******	0,42
	Trusting Mean Score	1,54 (1,08)	4,11 (0,85)	35,11	**<0,00001******	0,62
UPPS	*Urgence (/48)*	35,30 (5,47)	26,10 (4,00)	30,22	**<0,00001******	0,52
	Manque de préméditation (/44)	22,40 (5,27)	21,80 (4,11)	0,32	**0,57**	0,0055
	Manque de persévérance (/40)	19,50 (4,60)	19,20 (3,34)	0,0028	**0,96**	<0,00001
	Recherche de sensation (/48)	26,60 (8,24)	29,70 (8,20)	1,95	**0,16**	0,034
DERS	*Incapacité à accepter les réponses émotionnelles (/30)*	20,00 (6,78)	11,10 (3,85)	126	**<0,00001******	0,72
	Difficulté à maintenir un comportement orienté vers un objectif (/25)	16,70 (3,04)	13,30 (2,48)	173	**0,000039*****	0,62
	Difficulté de contrôle des impulsions (/30)	16,60 (2,19)	19,00 (1,82)	174	**0,000040*****	0,61
	Manque de conscience émotionnelle (/30)	17,60 (4,05)	20,70 (3,14)	239	**0,0017****	0,47
	Accès limité aux stratégies de régulation émotionnelle (/40)	22,30 (4,28)	27,60 (3,24)	157	**0,000014*****	0,65
	Manque de clarté émotionnelle (/25)	16,10 (1,85)	17,30 (1,53)	277	**0,0091****	0,38

TABLE 4.3 – Résultats des données des questionnaires psychométriques relatifs à la régulation émotionnelle et comportementale et des tests de comparaisons entre le panel patient et témoin. Légende : <0,00001 '****', <0,001 '***', <0,01 '**'

†Un test de Kruskal-Wallis a été utilisé pour la comparaison des scores de la MAIA et de l'UPPS. Pour les autres questionnaires, des tests de Mann-Whitney U ont été utilisés.

En ce qui concerne les questionnaires psychométriques relatifs au comportement alimentaire, tous les tests effectués sur les sous-échelles du DEBQ, ainsi que sur les scores obtenus avec le FCQ-T-r révèlent des différences significatives entre les deux panels, avec toujours des scores plus élevés pour les patientes. Le questionnaires YFAS 2.0 établit davantage de diagnostic positif à une dépendance alimentaire forte pour les patientes que pour les témoins.

En ce qui concerne les questionnaires psychométriques relatifs à certaines dimensions cliniques, ils révèlent des scores significativement plus élevés pour la sous-échelle d'urgence de l'UPPS et toutes les sous-échelles de DERS, ainsi que des scores significativement plus bas pour les sous-échelles de régulation de l'attention, de conscience émotionnelle, d'autorégulation, d'écoute corporelle et de confiance du MAIA, chaque fois pour le panel de patientes.

4.8.2 Questionnaires d'évaluation de l'immersion en RV

Nous avons effectué des tests de Mann-Whitney sur les sous-échelles du SSQ et de l'IPQ entre les groupes de population. Les résultats sont présents dans le Tab. 4.4. L'analyse des données collectées a révélé que les scores moyens pour les symptômes de nausée et oculomoteurs du SSQ étaient significativement plus élevés pour le groupe de patients (facteur de nausée : U = 236, p = 0,0015 ; facteur oculomoteur : U = 297, p = 0,022). Cependant, aucune différence significative n'a été trouvée entre le groupe de patientes et le groupe de témoins pour les facteurs de l'IPQ (présence générale : U = 423, p = 0,68 ; présence spatiale : U = 402, p = 0,48 ; implication : U = 418, p = 0,63 ; réalisme vécu : U = 398, p = 0,44).

		Patient	***Témoin***	***Mann-Withney (U) test***		
		Moyenne (écart-type)		*U*	*p*	*Taille d'effet*
SSQ	*Nausée (/36)*	13,50 (2,98)	11,80 (3,10)	236	**0,0015****	0,48
	Trouble Oculomoteur (/28)	11,20 (2,08)	10,10 (3,08)	297	**0,022***	0,34
IPQ	*Présence générale (/3)*	1,73 (1,26)	1,97 (0,93)	423	**0,68**	0,061
	Présence spatiale (/15)	8,40 (4,30)	9,20 (3,75)	402	**0,48**	0,11
	Implication (/12)	4,87 (4,22)	4,20 (4,12)	418	**0,63**	0,072
	Réalisme (/12)	2,70 (4,34)	3,80 (4,03)	398	**0,44**	0,12

TABLE 4.4 – Résultats des données des questionnaires d'évaluation de d'immersion en RV relatifs à la régulation émotionnelle et comportementale et des tests de comparaisons entre le panel patient et témoin. Légende : <0,01 '**', <0,05 '*'

4.8.3 Cotations subjectives de craving

Tout d'abord, une évaluation globale de l'effet du type de population (patient ou témoin), du type de pièce visitée (hall de l'immeuble, chambre à coucher, chambre de l'adolescent, salon, cuisine) et de l'interaction entre ces deux facteurs a été réalisée. Notre modèle statistique est un modèle dit "mixte" : il comprend une combinaison de 2 facteurs, l'un inter-sujet (groupe patient ou groupe, témoin, facteur appelé "type de population) et l'autre intra-sujet (pièces explorées, facteur appelé "type de pièce). La distribution des scores de craving au sein de notre échantillon réfutant l'hypothèse d'une distribution normalisée selon le test de Shapiro-Wilk, nous avons utilisé une méthode dite "d'analyse non paramétrique des données longitudinales dans les expériences factorielles" (en anglais, Nonparametric Analysis of Longitudinal Data in Factorial Experiments (*nparLD*) [179]). Les résultats ont montré un effet significatif pour le facteur de type de population ($F = 9{,}70$, $p = 0{,}0018$), le facteur de type de pièce ($F = 39{,}42$, $p<0{,}0001$), et l'interaction des 2 facteurs ($F = 8{,}65$, $p = 0{,}00012$).

Ensuite, nous avons étudié l'évolution des scores de craving à travers la progression dans l'environnement ReVBED dans chaque groupe. La Fig. 4.4 affiche la répartition des scores de craving donnés par les participantes, pour chaque salle (patientes et témoins). Des comparaisons de tests appariés de Wilcoxon ont également été effectuées entre les salles pour chaque type de population. Les niveaux significatifs pour les premières paires significatives pour chaque salle dans l'ordre de l'exploration sont affichés dans la Fig. 4.4 (voir annexe A.12) pour tous les résultats de comparaison).

Les scores moyens de craving ont augmenté après chaque exposition pour chaque salle, pour le groupe de patientes ainsi que pour le groupe témoins. Pour chaque salle successive, les scores sont significativement différents pour le groupe de patientes, tandis que seuls les deux derniers scores de la cuisine et du salon sont significativement différents pour le groupe témoins.

Des comparaisons entre les deux populations pour chaque salle ont été effectuées à travers des tests de Mann-Whitney. Pour toutes les salles, excepté le hall de l'immeuble, les scores moyens de craving sont significativement plus élevés pour le groupe de patientes que pour le groupe témoin (voir Tab. 4.5).

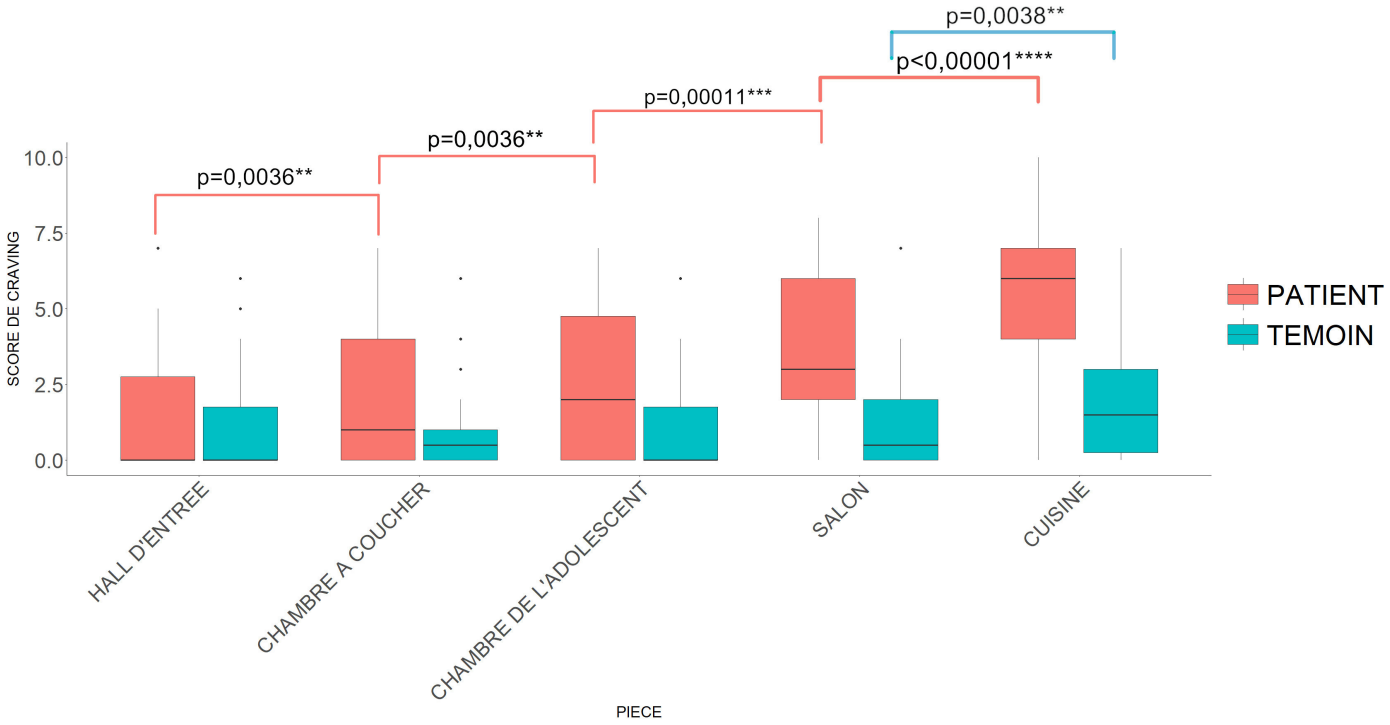


FIGURE 4.4 – Représentation des scores de craving en fonction des pièces d'exposition. Les niveaux de significativité, calculés avec les tests de Wilcoxon appariés, sont indiqués entre les comparaisons de salles, pour le groupe de patientes et le groupe de témoins. Seule la première paire significative pour chaque salle dans l'ordre de l'exploration est affichée. Légende : <0,00001 '****', <0,001 '***', <0,01 '**'

Pièce d'exposition	*Craving*			*Anxiété*		
	Différence de moyenne (patient - témoin)	*p*	*Taille d'effet*	*Différence de moyenne (patient - témoin)*	*p*	*Taille d'effet*
Hall de l'immeuble	0,37	0,46	0,25	1,37	**0,013***	0,37
Chambre à coucher	1,00	**0,087***	0,48	1,67	**0,0027****	0,45
Chambre de l'adolescent	1,42	**0,014***	0,54	1,77	**0,0021****	0,46
Salon	2,37	**0,00020*****	0,76	1,50	**0,0085****	0,39
Cuisine	3,20	**0,000019*****	0,85	1,67	**0,0049****	0,42

TABLE 4.5 – Résultats des tests de Mann-Whitney sur les scores de craving et d'anxiété entre les patients et les témoins, pour chaque pièce explorée. Légende : <0,001 '***', <0,01 '**', <0,05 '*'

4.8.4 Cotations subjectives d'anxiété

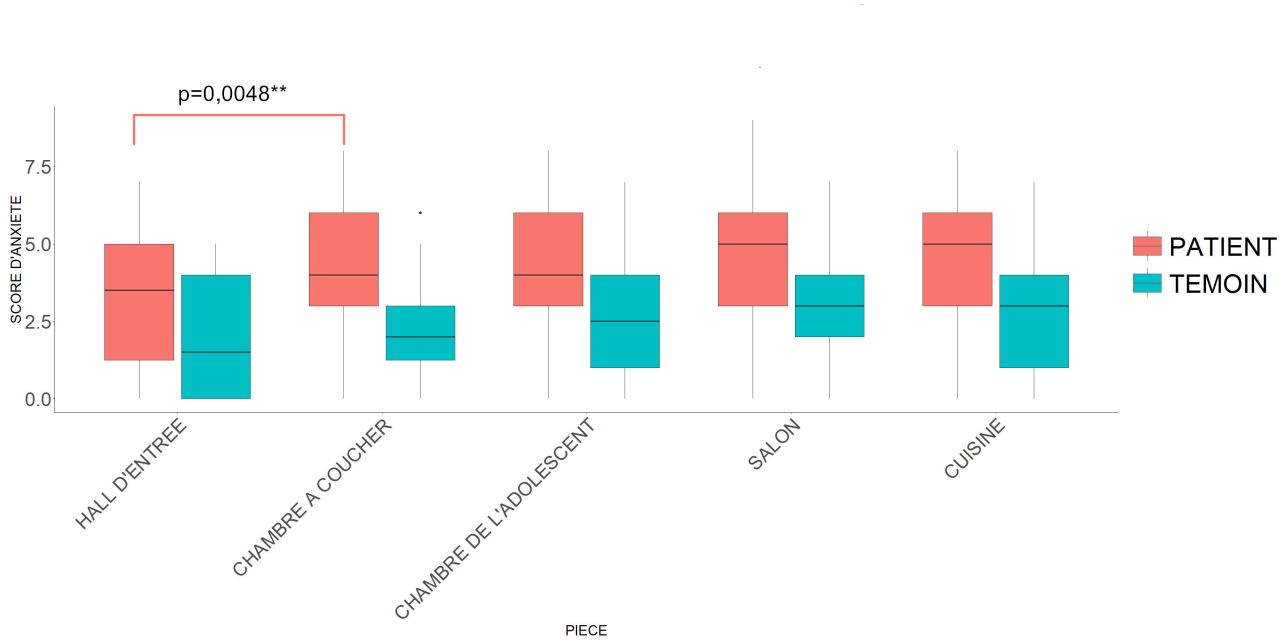


FIGURE 4.5 – Représentation des scores d'anxiété en fonction des pièces d'exposition. Les niveaux de significativité, calculés avec les tests de Wilcoxon appariés, sont indiqués entre les comparaisons de salles, pour le groupe de patients et le groupe de témoins. Seule la première paire significative pour chaque salle dans l'ordre de l'exploration est affichée. Légende : <0,01 '**'

De façon similaire aux scores de craving, une évaluation globale de l'effet du type de population, du type de pièce visitée et de l'interaction de ces deux facteurs a été faite pour les cotations d'anxiété *via* une analyse nparLD. Les résultats indiquent un effet significatif pour le facteur de type de population (F = 11,36, p = 0,00075) et le facteur de type de pièce (F = 10,67, p = <0,00001), mais pas pour l'interaction entre les facteurs (F = 0,29, p = 0,77). Les distributions d'anxiété à travers chaque salle et chaque type de population, avec les premières comparaisons par paires significatives, sont affichées dans la Fig. 4.5 (voir annexe A.13 pour tous les résultats de comparaison). Ces dernières révèlent une augmentation significative de l'anxiété après chaque pièce pour les patients et aucune augmentation significative pour les témoins.

Des tests de Mann-Withney ont également été effectués entre les deux types de population pour chaque salle (Tab. 4.5). Les mêmes observations peuvent être faites entre

le groupe de patientes et le groupe de témoins. Cependant, l'effet du facteur de la pièce devient insignifiant à partir de la comparaison entre la chambre et la chambre d'adolescent.

4.8.5 Données physiologiques

4.8.5.1 Analyse de l'AED

Les données recueillies ont tout d'abord été traitées *via* des filtres passe-bas et passe-haut. Le filtrage passe-bas est couramment utilisé pour réduire le bruit en haute fréquence présent sur le signal collecté par le capteur, qui peut être dû à des perturbations pouvant provenir de différentes sources (capteurs, artefacts de mouvements). Plusieurs études ont déjà utilisé ces procédés selon la revue de Hovers et coll. [115, 6, 66, 153, 41].

Par ailleurs, l'AED est décomposée en deux phases :

— une activité lente dite "tonique", qui fluctue spontanément et avec un temps de réaction de 10 à 30 s pour une amplitude de 2 à 20 µS ;

— une activité dite "phasique", qui varie plus rapidement et avec une amplitude plus faible, de l'ordre de 0,1 à 1 µS. Elle est le résultat d'une réponse électrodermale face à un stimulus émotionnel [77].

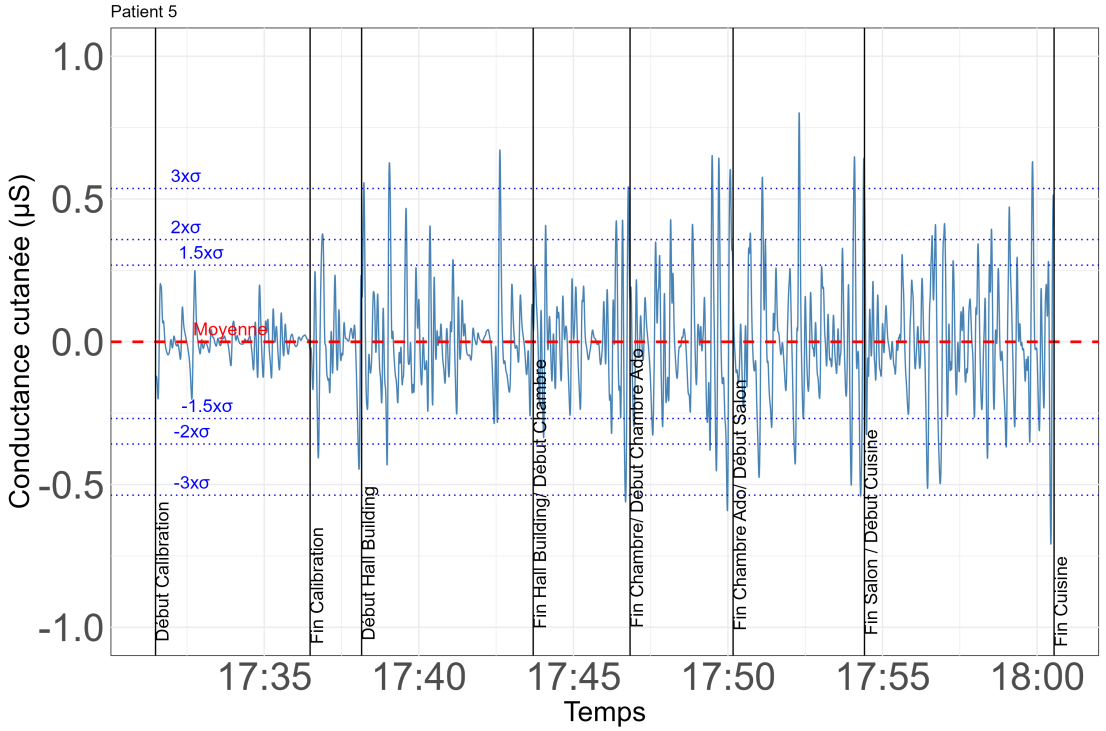
L'analyse de la réponse électrodermale requiert donc la séparation de la phase tonique. Celle-ci s'opère *via* l'utilisation d'un filtre passe-haut, dont l'usage a lui aussi été fait par des études antérieures [48, 120]. La littérature s'accorde à utiliser des filtres passe-bas avec une fréquence de coupure supérieure à 0,5 Hz, compris entre 1 et 5 Hz [15, 66, 41, 145, 99, 198] et des filtres passe-haut allant de 0,01 à 0,05 Hz [48, 120, 115, 14, 13, 15].

Nous avons donc effectué des filtrages de Butterworth [45] passe-bas d'ordre 2 et de fréquence de coupure à 0,5 Hz, et passe-haut d'ordre 2 et de fréquence de coupure à 0,08 Hz.

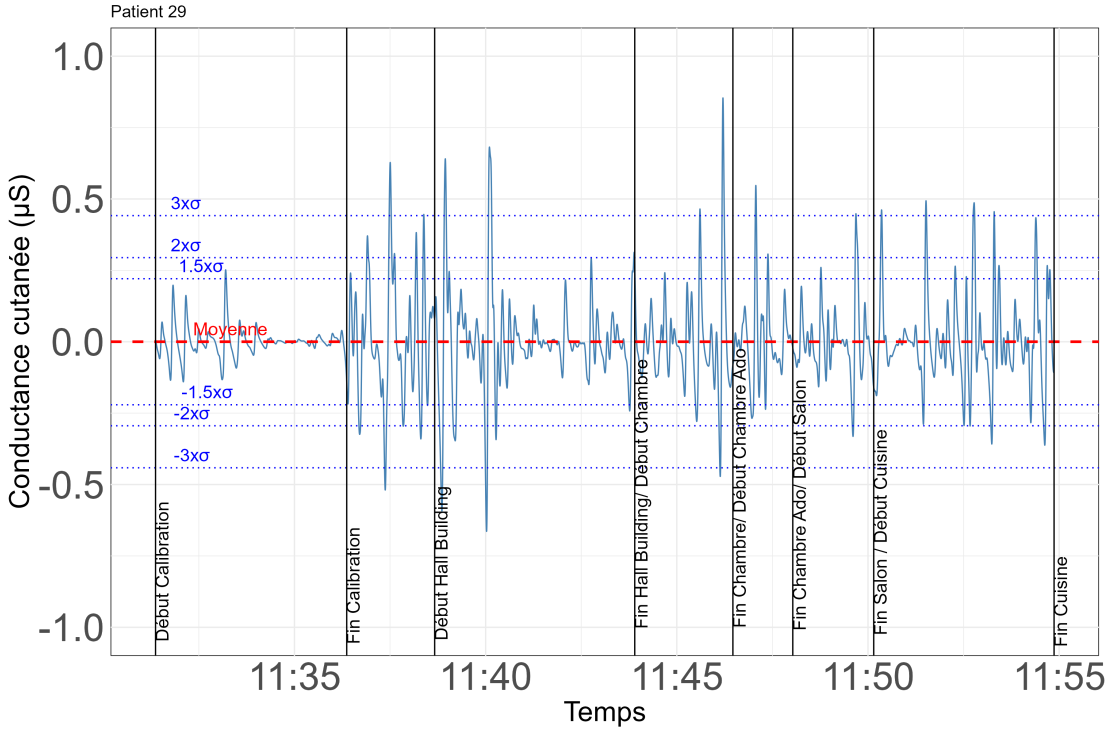
Une représentation de l'évolution de la conductance cutanée mesurée et filtrée, pour 2 sujets patients et 2 sujets témoins, est visible dans les Fig. 4.6a, 4.6b, 4.6c et 4.6d.

Par ailleurs, dans certaines études, les données sont normalisées en fonction de la baseline mesurée au préalable [72, 240, 249, 26, 41]. Selon la revue de Hovers et coll. [115], si les temps de baseline des études recueillies varient entre 30 secondes et 22 minutes, le temps moyen relevé est de l'ordre de 4 à 5 minutes. Nous avons donc normalisé nos mesures en fonction de la baseline mesurée durant la phase de repos (voir section 4.7.2.1) afin de corriger les variations entre individus, en soustrayant la moyenne de la baseline propre à chaque participant, à chaque moyenne de chaque pièce d'exposition visitée.

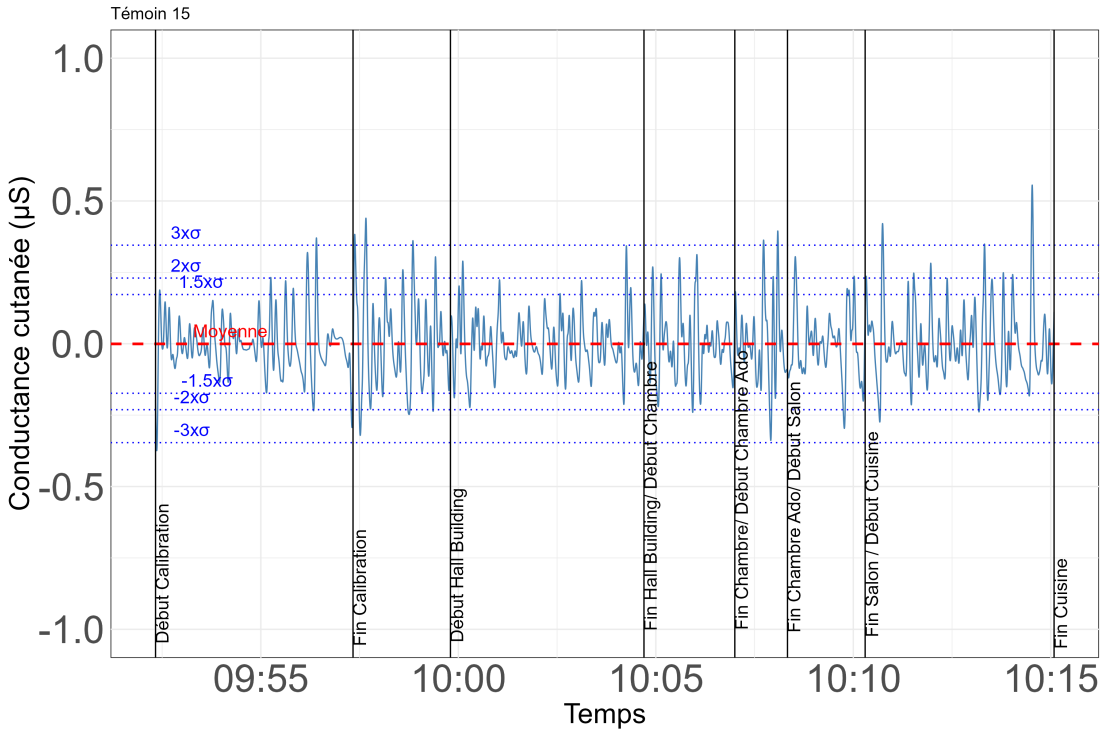
Après avoir obtenu une mesure moyenne pour chaque pièce pour chaque participante, la détection des moyennes dites "outliers" s'est faite comme suit :les valeurs supérieures à Q3 + 1,5xIQR ou inférieures à Q1 - 1,5xIQR sont considérées comme des valeurs aberrantes ; les valeurs supérieures à Q3 + 3xIQR ou inférieures à Q1 - 3xIQR sont considérées comme des valeurs aberrantes extrêmes. Si l'une des moyennes pour une participante était détectée comme aberrante, le sujet était entièrement exclu des analyses statistiques. Au final, 6 patientes et 6 témoins ont été exclues : les analyses statistiques suivantes concernent donc un panel de 24 sujets patients et 24 sujets témoins.


Patient 5
Conductance cutanée (µS)
1.0
0.5
0.0
-0.5
-1.0
3xσ
2xσ
1.5xσ
Moyenne
-1.5xσ
-2xσ
-3xσ
Début Calibration
Fin Calibration
Début Hall Building
Fin Hall Building/ Début Chambre
Fin Chambre/ Début Chambre Ado
Fin Chambre Ado/ Début Salon
Fin Salon / Début Cuisine
Fin Cuisine
17:35
17:40
17:45
17:50
17:55
18:00
Temps

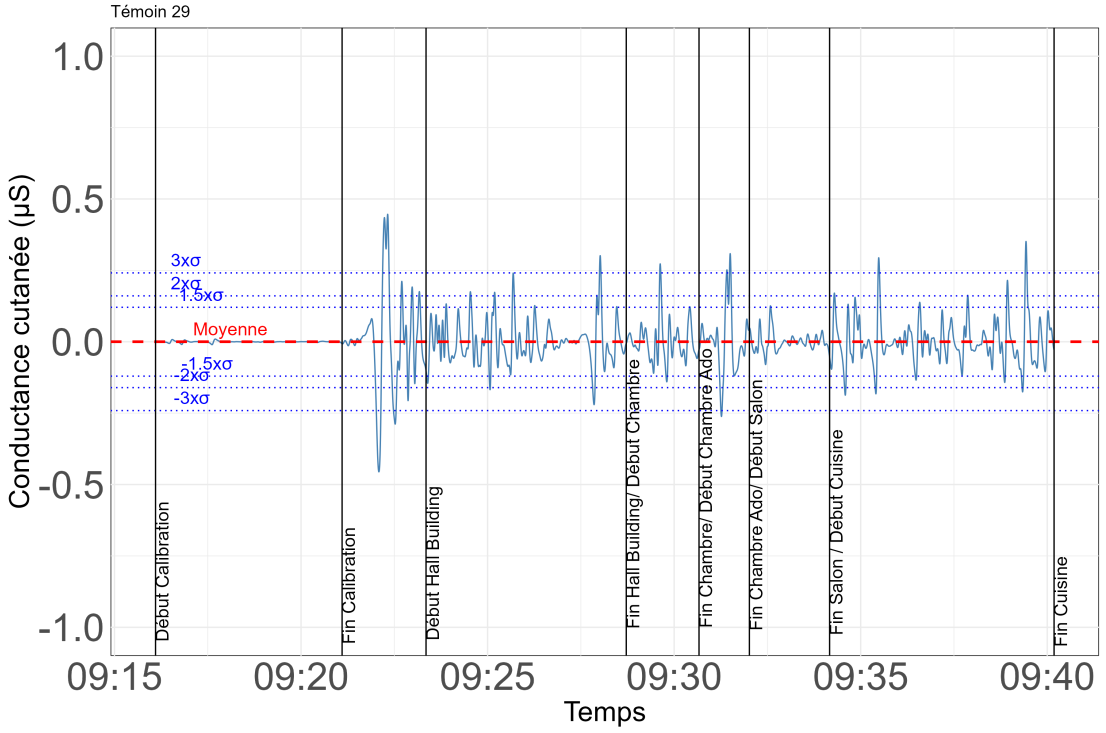
(a)


Patient 29
Conductance cutanée (µS)
1.0
0.5
0.0
-0.5
-1.0
3xσ
2xσ
1.5xσ
Moyenne
-1.5xσ
-2xσ
-3xσ
Début Calibration
Fin Calibration
Début Hall Building
Fin Hall Building/ Début Chambre
Fin Chambre/ Début Chambre Ado
Fin Chambre Ado/ Début Salon
Fin Salon / Début Cuisine
Fin Cuisine
11:35
11:40
11:45
11:50
11:55
Temps

(b)



(c)



(d)

FIGURE 4.6 – Exemple de l'évolution de la conductance cutanée mesurée en fonction du temps, pour 2 patientes ((a) et (b)) et 2 témoins ((c) et (d)).

Les distributions des moyennes de conductance cutanée, filtrées, normalisées et en valeur absolue, à travers chaque salle et chaque type de population, sont affichées dans la Fig. 4.7.

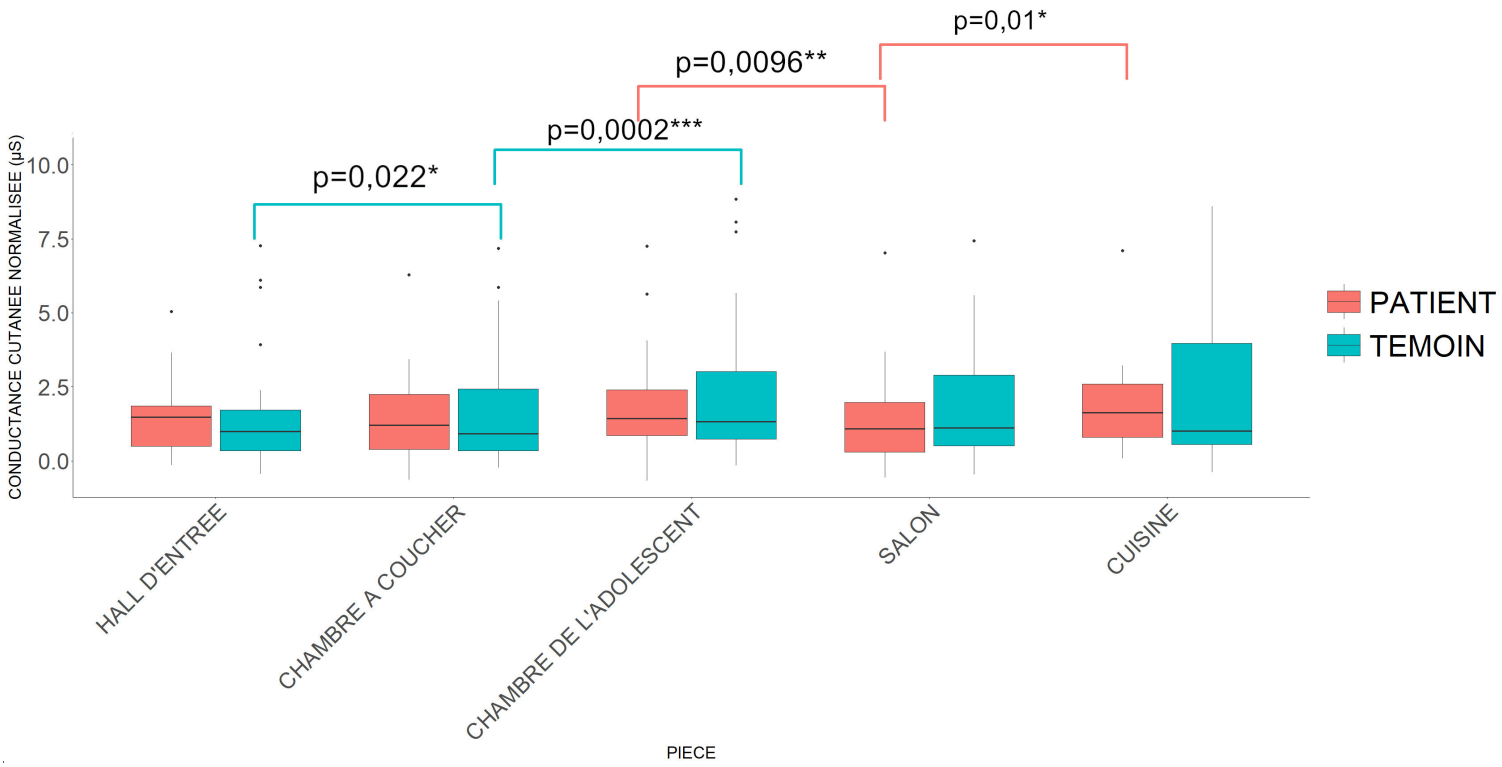


FIGURE 4.7 – Distributions des moyennes de conductance cutanée normalisées en fonction des pièces d'exposition. Légende : <0,001 '***', <0,01 '**', <0.05 '*'

De façon similaire aux cotations subjectives, nous avons également étudié les effets globaux des facteurs du type de population, du type de pièce visitée et de l'interaction de ces deux factors *via* la méthode nparLD. Les résultats montrent une influence significative du type de pièce (F = 6,28, p = 0,00025), mais pas pour le type de population (F = 0,0028, p = 0,96) ni pour l'interaction des facteur (F = 1,47, p = 0,23).

Des tests de Mann-Withney ont été effectués entre les deux populations pour chaque pièce. L'interaction globale du type de facteur n'étant que très peu influente, aucune différence significative n'a été relevée (voir Tab. 4.6).

De plus, des tests appariés de Wilcoxon ont été faits entre chaque combinaison de pièce, pour le groupe patient et pour le groupe témoin. Les premières comparaisons par paires significatives dans l'ordre de l'exploration sont affichées dans la Fig. 4.7 (l'ensemble

Comparaison	*Différence de moyenne (patient - témoin)*	*p*	*Taille d'effet*
Hall de l'immeuble	0,13	0,74	0,059
Chambre à coucher	-0,19	0,66	0,076
Chambre de l'adolescent	-0,20	0.59	0,094
Salon	-0,35	0,43	0,14
Cuisine	0,048	0,93	0,017

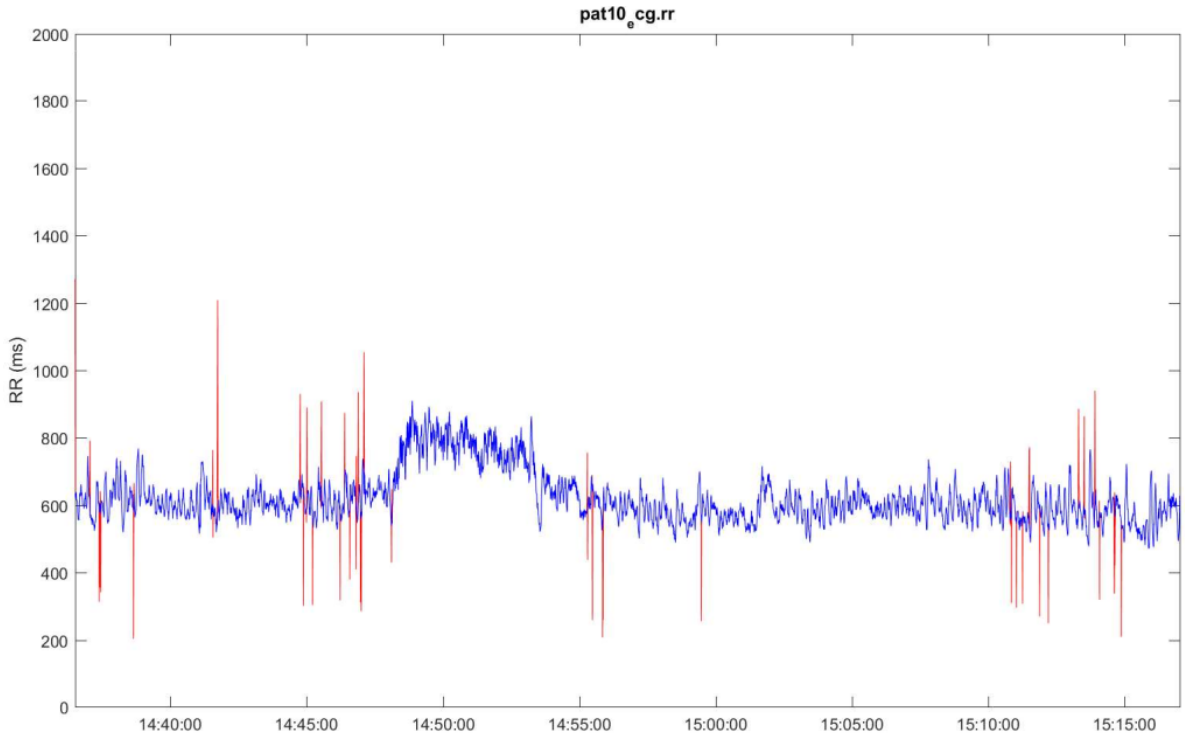
TABLE 4.6 – Résultats des tests de Mann-Whitney sur les moyennes mesurées de conductance cutanée entre les patienes et les témoins, pour chaque pièce explorée

des comparaisons sont visibles dans l'annexe A.14). Ces dernières indiquent une baisse significative de la conductance cutanée pour les patientes dans le salon, qui augmente de nouveau de façon significative dans la cuisine. Pour les témoins, la conductance augmente significativement après exposition dans la chambre à coucher et la chambre de l'adolescent.

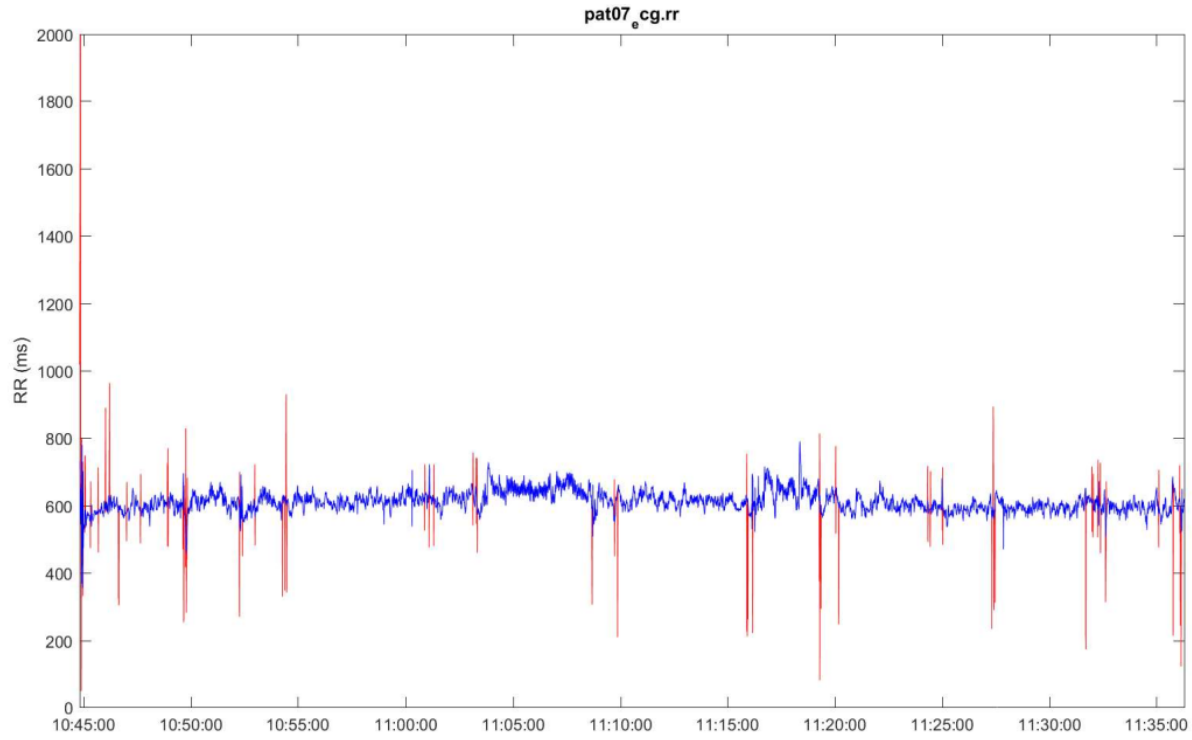
4.8.5.2 Analyse de la VFC

Les données mesurées avec les électrodes reliées à l'enregistreur d'électrocardiogramme Neurocoach® ont été essentiellement traitées *via* le logiciel HRVAnalysis développé par Pichot et coll. en 2016 [186]. A travers une première détection des pics aberrants (détectés *via* l'algorithme de Cheung [57]), 5 patientes et 4 témoins ont été retirées du fait d'un jeu de données trop bruité.

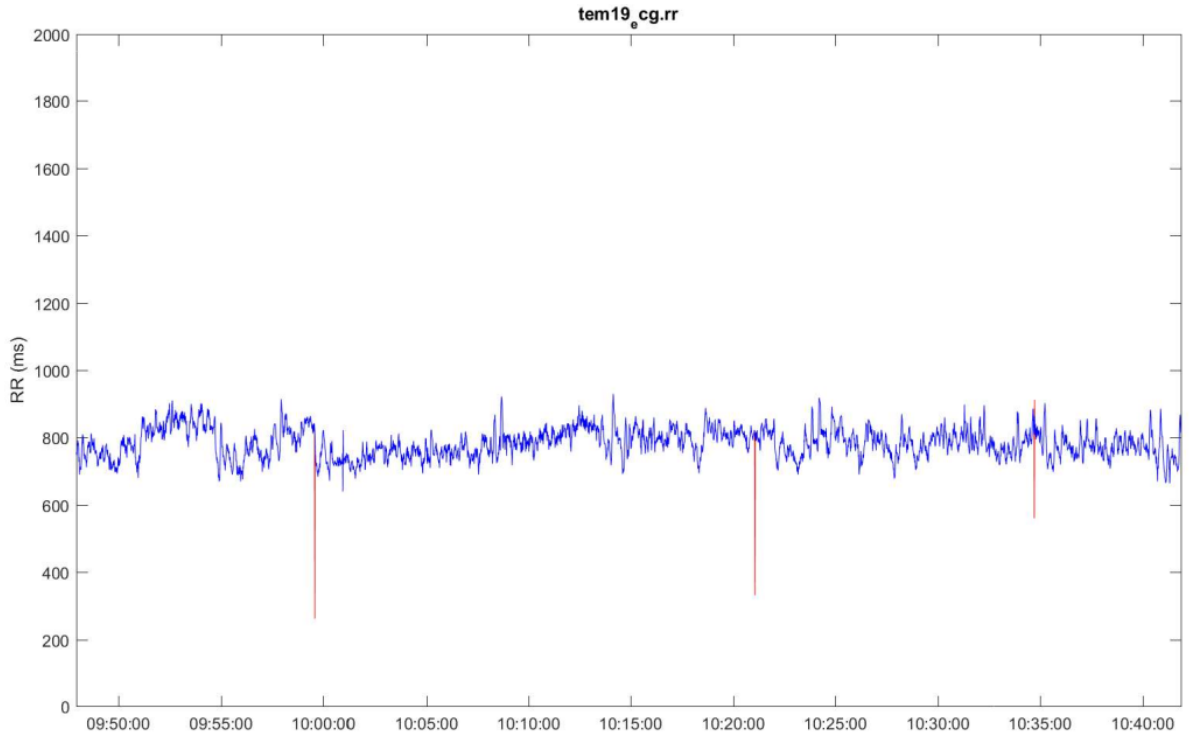
Tout comme les données GSR, après avoir une mesure moyenne pour chaque pièce pour chaque participante, la détection des moyennes dites "outliers" s'est faite comme suit : les valeurs supérieures à Q3 + 1,5xIQR ou inférieures à Q1 - 1,5xIQR sont considérées comme des valeurs aberrantes ; les valeurs supérieures à Q3 + 3xIQR ou inférieures à Q1 - 3xIQR sont considérées comme des valeurs aberrantes extrêmes. Si l'une des moyennes pour une participante était détectée comme aberrante, le sujet était entièrement exclu des analyses statistiques. Au final, 4 patientes et 8 témoins ont été exclues : les analyses statistiques suivantes concernent donc un panel de 21 patientes et 18 témoins.


pat10_e cg.rr
RR (ms)
2000
1800
1600
1400
1200
1000
800
600
400
200
0
14:40:00
14:45:00
14:50:00
14:55:00
15:00:00
15:05:00
15:10:00
15:15:00

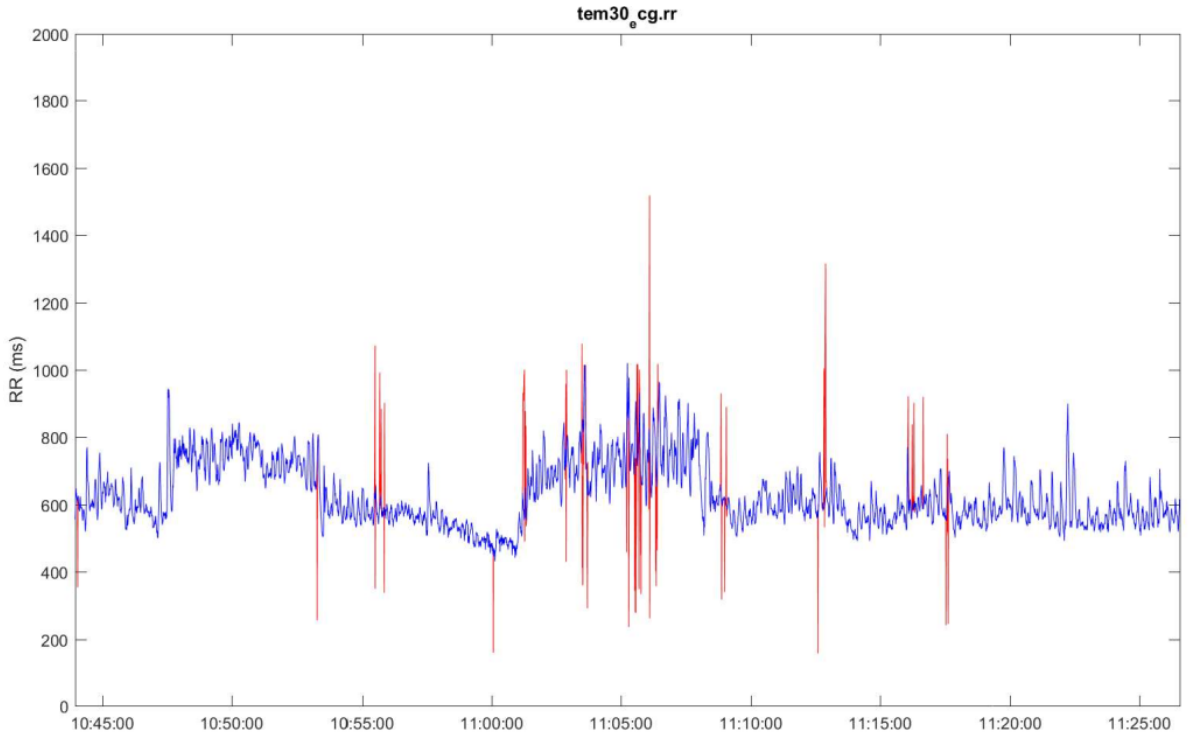
(a)


pat07_e cg.rr
RR (ms)
2000
1800
1600
1400
1200
1000
800
600
400
200
0
10:45:00
10:50:00
10:55:00
11:00:00
11:05:00
11:10:00
11:15:00
11:20:00
11:25:00
11:30:00
11:35:00

(b)



(c)



(d)

FIGURE 4.8 – Exemple de l'évolution de la puissance spectrale des HF (nerf parasympathique) mesurée en fonction du temps, pour 2 patientes ((a) et (b)) et 2 témoins ((c) et (d)). Les pics aberrants sont affichés en rouge et corrigés avec une interpolation du signal.

Les distributions des moyennes normalisées de puissance spectrale en HF, à travers chaque salle et chaque type de population, sont affichées dans la Fig. 4.9.

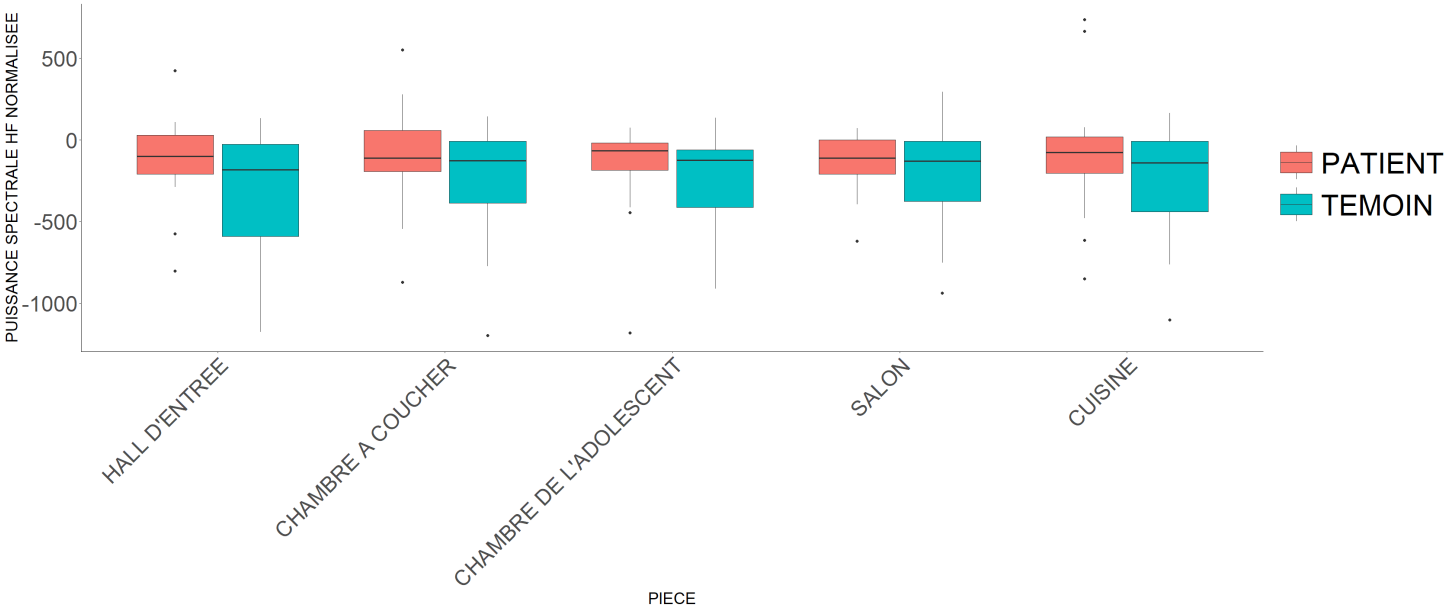


FIGURE 4.9 – Distributions des moyennes de puissance spectrale des HF normalisées en fonction des pièces d'exposition

L'analyse des effets globaux des facteurs du type de population, du type de pièce visitée et de l'interaction de ces deux factors *via* la méthode nparLD ne donne aucun résultat significatif (type de population : F = 1,23, p = 0,27 ; type de pièce : F = 0,48, p = 0,71 ; interaction : F = 0,76, p = 0,52).

Les tests de Mann-Withney ont été réalisés entre les deux populations pour chaque pièce. Étant donné que l'interaction globale du type de facteur n'est pas significative, aucune différence notable n'a été observée, comme indiqué dans le tableau 4.7.

Des tests appariés de Wilcoxon ont été faits entre chaque combinaison de pièce, pour le groupe patient et pour le groupe témoin. Les résultats sont visibles dans l'annexe A.15). Ces dernières n'indiquent aucune évolution significative entre les pièces d'exposition pour les deux groupes, ce qui confortent les résultats obtenus dans l'interaction globale du type de pièce.

Comparaison	*Différence de moyenne (patient - témoin)*	*p*	*Taille d'effet*
Hall de l'immeuble	115,60	0,14	0,28
Chambre à coucher	90,80	0,25	0,22
Chambre de l'adolescent	152	0,31	0,20
Salon	40,10	0,49	0,13
Cuisine	79,50	0,34	0,19

TABLE 4.7 – Résultats des tests de Mann-Whitney sur les moyennes mesurées de puissance spectrale en HF entre les patientes et les témoins, pour chaque pièce explorée

4.8.6 Corrélation entre les scores de craving et d'anxiété

Nous avons examiné les corrélations entre les scores de craving et les scores d'anxiété des participantes. Pour explorer ces relations, nous avons calculé les coefficients de corrélation de Spearman entre les scores de craving et les scores d'anxiété. Les coefficients de corrélation obtenus sont significatifs et positifs à la fois pour les patientes ($\rho = 0{,}43$, $p < 0{,}0001$) et pour les témoins ($\rho = 0{,}25$, $p = 0{,}0019$). Par ailleurs, la corrélation est largement supérieure pour les patientes que pour les témoins.

4.8.7 Corrélation entre les différences de scores de craving/d'anxiété et les scores des questionnaires psychométriques

Nous avons également étudié les corrélations entre les différences de scores de craving et d'anxiété des participants entre la dernière évaluation (cuisine) et la première évaluation (halle de bâtiment), ainsi que tous les scores des sous-échelles de chaque questionnaire psychométrique.

En prenant le groupe de participantes entier, des corrélations significatives de Spearman apparaissent entre les différences de scores de craving et :

- UPPS : les scores de la sous-échelle d'urgence ($\rho = 0{,}44$, $p = 0{,}00068$) ;
- MAIA : les scores de la sous-échelle de régulation et de contrôle de l'attention ($\rho =$ -0,31, $p = 0{,}019$), de régulation de la détresse émotionnelle ($\rho =$ -0,37, $p = 0{,}0045$), de l'écoute corporelle ($\rho =$ -0,41, $p = 0{,}0014$) et de la confiance en son corps ($\rho =$ -0,47, $p = 0{,}00022$) ;
- DERS : les scores de la sous-échelle d'incapacité à accepter les réponses émotionnelles ($\rho = 0{,}28$, $p = 0{,}029$), de difficultés à maintenir un comportement orienté vers des objectifs ($\rho = 0{,}37$, $p = 0{,}0042$) et de l'accès limité aux stratégies de régulation des émotions ($\rho =$ -0,36, $p = 0{,}0044$) ;

— DEBQ : les scores de la sous-échelle d'alimentation émotionnelle (ρ = 0,50, p = 0,000049), de la restriction alimentaire (ρ = 0,32, p = 0,012) et de l'alimentation externe (ρ = 0,53, p = 0,000015) ;
— les scores du FCQ-T-r (ρ = 0,37, p = 0,0037).

En se focalisant sur chaque groupe séparément, seule une corrélation est significative entre les différences de scores de craving et le scores de la sous-échelle de difficultés de contrôle des impulsions du DERS pour les témoins (ρ = 0,39, p = 0,032).

Aucune corrélation significative n'a été trouvée avec les scores d'anxiété.

4.8.8 Corrélation entre les différences de scores de craving/d'anxiété et les scores des questionnaires d'évaluation de l'immersion en RV

Les mêmes investigations ont été effectuées sur les scores des questionnaires d'évaluation de l'immersion en RV.

Tout d'abord, en ce qui concerne les sous-échelle de l'IPQ, aucune corrélation significative n'a pu être identifiée ni avec les scores de craving, ni avec les scores d'anxiété, que ce soit avec le groupe de participantes entier ou avec le groupe de patientes ou de témoins. En revanche, pour les sous-échelle du SSQ, on retrouve une corrélation significative avec celle des nausées et des troubles oculomoteurs avec les différences de score de craving, en prenant en compte le groupe total (nausée : ρ = 0.26, p = 0.046 ; oculomoteur : ρ = 0.26, p = 0.043). De plus, si l'on considère uniquement le groupe témoin, une corrélation significative apparaît entre la sous-échelle des troubles oculomoteurs et les différences de score d'anxiété (ρ = 0.40, p = 0.031).

4.8.9 Corrélation entre les différences de scores de craving/d'anxiété et les données physiologiques

La mise en relation entre les notes de craving et les moyennes de conductance cutanée pondérées par rapport aux moyennes des données basales indiquent une corrélation de Spearman positive significative (ρ = 0,11, p = 0,046). En considérant les deux panels, on retrouve toujours un niveau de significativité haut pour les patientes (ρ = 0,16, p = 0,040) mais pas pour les témoins (ρ = 0,05, p = 0,29). Aucune corrélation significative n'est cependant révélée en prenant en compte les scores d'anxiété, que ce soit avec la totalité

des participantes (ρ = 0,037, p = 0,28) ou entre chaque groupe (patientes : ρ = -0,019, p = 0,58 ; témoins : ρ = 0,10, p = 0,14).

En revanche, en ce qui concerne les moyennes des puissances spectrales en HF, si aucune corrélation significative ne peut être mentionnée avec les scores de craving, que ce soit avec la population totale (ρ = 0,073, p = 0,30) ou pour chaque groupe (patient : ρ = -0,019, p = 0,84 ; témoin : ρ = 0,0090, p = 0,93), une corrélation positive globale significative est indiquée avec les scores d'anxiété (ρ = 0,16, p = 0,026), qui n'apparaît pas néanmoins en isolant chaque groupe (patient : ρ = 0,076, p = 0,43 ; témoin : ρ = 0,075, p = 0,47).

4.9 Discussion

Les résultats montrent tout d'abord que l'environnement ReVBED induit un craving alimentaire significativement plus élevé chez les patients que chez les témoins, à l'instar des résultats de l'étude de 2017 de Pla-Sanjuanelo et coll. [190], et que ce craving croit progressivement lors de l'exposition, ce qui confirme l'hypothèse $\mathbf{Hy_1}$. Ce résultat se vérifie pour toutes les pièces du scénario, validant l'hypothèse $\mathbf{Hy_2}$. Ces résultats soulignent la capacité de l'envrionnement ReVBED qui, grâce à son immersivité, la diversité de ses stimuli et son caractères semi-guidée permet d'induire de manière importante le craving alimentaire.

En ce qui concerne l'anxiété, les résultats confirment que les patients éprouvent des niveaux d'anxiété significativement plus élevés induits par l'ensemble du scénario ReVBED par rapport aux sujets témoins, validant l'hypothèse $\mathbf{Hy_3}$ (toute comme l'étude de 2017 de Pla-Sanjuanelo et coll. [190]), et ces résultats se sont retrouvés pour chaque pièce d'exposition, ce qui confirme l'hypothèse $\mathbf{Hy_4}$. Cela souligne la réactivité émotionnelle accrue des patients atteints de TCA à l'environnement ReVBED.

De plus, l'hypothèse d'une corrélation positive entre les évaluations subjectives du craving et de l'anxiété dans l'environnement ReVBED a été validée par nos données, validant l'hypothèse $\mathbf{Hy_5}$. Cette corrélation entre le craving et l'anxiété est également significativement plus élevée pour le groupe de patientes, ce qui confirme le lien entre craving et anxiété.

Concernant les questionnaires psychométriques, des corrélations avec le craving pour l'ensemble de la population ont été révélées sur certains facteurs, en particulier sur des facteurs liés aux capacités de régulation attentionnelle ou émotionnelle. Cependant, aucune corrélation n'apparaît lorsque l'on considère les groupes des patientes ou des témoins séparément. Ces résultats montrent que les questionnaires psychométriques permettent de

discriminer les patients des témoins, mais ne permettent pas de caractériser ou prédire les variations de craving au sein de chaque groupe.

Le questionnaires d'évaluation des effets de cybercinétose SSQ suggèrent que, bien que les patientes aient ressenti des nausées et des troubles oculomoteurs plus importants, le craving et l'anxiété n'ont pour autant pas été altérés, ce qui suggère un effet notable et efficace de l'environnement ReVBED dans l'induction du stress et du craving malgré d'éventuels effets de cybercinétose ressentis. La différence significative de cybercinétose observée entre les patients et les témoins est un résultat important de l'étude : elle ouvre la voie vers d'avantage d'étude entre les liens entre TCA et cybercinétose.

De plus, le sentiment de présence ressenti dans ReVBED entre les deux groupes, évalué avec le questionnaire de présence IPQ, est équivalent.

Enfin, pour ce qui est des données physiologiques, les corrélations entre la mesure de l'AED et les scores de craving, en particulier pour les patientes, suggèrent que l'AED apparaît comme un potentiel marqueur objectif des évolutions du craving à court terme dans l'environnement ReVBED. Selon nos résultats, elle ne peut toutefois pas être mis en relation avec la VFC. Autres résultats intéressants : les moyennes des puissances spectrales en HF sont, en moyenne, toujours plus basses pour les témoins, et ce pour chaque pièce, avec une distribution également plus hétérogène des mesures.

4.10 Limites

En raison des populations homogènes utilisées à la fois pour les groupes de patientes et de témoins, les généralisations de cette étude ne peuvent pas être appliquées à des populations moins représentées dans les TCA, telles que les hommes, les mineurs ou les minorités ethniques. De plus, en suivant le même scénario pour tous les participants, il n'est pas possible de déterminer si une augmentation ou une diminution du craving ou de l'anxiété est causé par un stimulus spécifique rencontré avant une évaluation, ou par un effet cumulatif dû à l'exposition cumulée aux pièces visitées depuis le début de l'immersion. L'utilisation de plusieurs scénarios couvrant tous les ordres possibles de visualisation des pièces présentes dans ReVBED pourrait permettre une meilleure évaluation individuelle de l'effet de chaque stimulus. Enfin, l'utilisation du dispositif et de tout l'équipement présenté nécessite une installation, un contrôle et un entretien importants, ce qui reste difficile à adapter pour l'activité clinique standard. Cette réflexion implique en partie l'optimisation du contenu immersif, ce qui permettrait d'utiliser un matériel informatique moins coûteux en ressource et plus facile à utiliser.

4.11 Conclusion

Nous avons présenté ReVBED, un environnement de RV capable d'induire un craving alimentaire dans une population souffrant de TCA. Les scores de craving, évalués avec des EVS, augmentent progressivement pendant l'exposition, avec une tendance significativement plus marquée observée dans le groupe des patientes. Les scores d'anxiété ont également tendance à augmenter, avec cependant une stagnation observée à partir de la moitié de l'exposition. La corrélation entre le craving et l'anxiété est confirmée, et plus spécifiquement à chaque étape d'évaluation dans l'environnement pour les patientes. L'analyse des caractéristiques psychométriques de la population a révélé des corrélations au sein de la population globale, mettant en avant des facteurs associés à la régulation attentionnelle et émotionnelle. De plus, les questionnaires d'évaluation qualitative ont indiqué que, malgré les nausées et les problèmes oculomoteurs rapportés chez les patients, leurs expériences subjectives de craving et d'anxiété sont restées cohérentes.

Cette application constitue une première étape vers le développement d'une thérapie utilisant la RV pour les TCA. Le développement d'une interface homme-machine, dans laquelle le participant pourrait avoir un retour en temps réel sur son état physiologique, est une perspective possible. Seules quelques études ont exploré l'association entre exposition en RV et biofeedback, même si elle est considérée comme prometteuse pour traiter les symptômes d'anxiété selon Kothgassner et coll. [138]. Weibel et coll. [261] révèle que l'utilisation du biofeedback avec un casque de RV produit des effets positifs sur la gestion du stress, tant sur le plan psychologique que le rythme cardiaque. Mazgelyt et coll. [159] montrent que les techniques de relaxation adaptées en RV utilisant la mesure de l'AED sont prometteuses pour réduire l'anxiété.

Etude sur l'influence de la qualité visuelle et du type d'aliment en RV sur l'envie de manger

Sommaire

Introduction

5.1.1 Origine de l'étude . . . 109

5.1.2 Objectifs et hypothèses . . . 109

5.1.3 Enjeux et contributions . . . 110

Visuels 3D des aliments

5.2.1 Critères de sélection . . . 111

5.2.2 Sélection des modèles de référence . . . 111

5.2.2.1 Bases d'images existantes . . . 111

5.2.2.2 Sélection préliminaire . . . 114

5.2.2.3 Sélection finale . . . 114

Créations et sélection des niveaux de qualité des aliments 3D

5.3.1 Résolution du maillage . . . 116

5.3.2 Résolution de la carte de texture . . . 118

5.3.3 Évaluation et sélection des niveaux de qualité des aliments 3D . . . 119

Environnement RV

5.4.1 Modélisation . . . 123

5.4.2 Aspects de l'environnement 123
Choix du matériel
5.5.1 PC 125
5.5.2 Matériel RV 125
Expérimentation
5.6.1 Lieu d'expérimentation 128
5.6.2 Participants 128
5.6.3 Planification et gestion de l'expérimentation 128
5.6.4 Critères d'évaluations 130
5.6.4.1 Avant l'immersion en RV 130
5.6.4.2 Pendant l'immersion en RR 130
5.6.4.3 Après l'immersion en RV 132
5.6.5 Procédure expérimentale 132
Résultats
5.7.1 Analyse du questionnaire de pré-exposition 135
5.7.2 Effet général de la qualité visuelle et du type d'aliment 3D sur le désir de manger 135
5.7.3 Envie de manger et qualité visuelle 136
5.7.4 Envie de manger et type d'aliment 140
5.7.5 Désir de manger et habitudes alimentaires 140
Discussions
Limites
Conclusion

5.1 Introduction

5.1.1 Origine de l'étude

Les origines de cette étude puisent leur inspiration dans la précédente étude de l'environnement ReVBED. Suite à la création de cet environnement et à la réalisation de l'expérimentation clinique, un constat a pu être dressé : l'installation conséquente de la configuration matérielle nécessaire à son fonctionnement ainsi que les ressources requises pour assurer une expérience utilisateur satisfaisante limitent son accessibilité et son utilisation pratique. Plus précisément, les ressources nécessaires à un taux de rafraîchissement acceptable pour une bonne expérience utilisateur ne peuvent être fournies que par un casque de RV relié à un PC performant. En effet la qualité graphique de l'environnement ne permet pas sa visualisation sur un casque autonome, qui permettrait un déploiement beaucoup plus facile. L'utilisation de la scène ReVBED sur un casque autonome nécessiterait une simplification drastique de l'environnement et de la qualité des éléments visuels, notamment alimentaires. Cette simplification pourrait avoir un impact sur le craving induit. Afin d'explorer cette influence de la qualité visuelle sur l'envie de manger suscitée, nous avons conduit une expérimentation dédiée à cette question sur un panel de participants sains. Notre étude explore plus largement l'influence de plusieurs facteurs sur l'envie de manger suscitée par des stimuli alimentaires présents en RV. Cette question n'a jamais été traitée dans l'état de l'art alors que les stimuli alimentaires (de qualité très variables) sont utilisés dans de nombreuses études en RV, comme en témoigne les revues de Xu et coll. [271], Taufik et coll. [238], Hartmann et coll. [110] ou de de Carvalho et coll. [49].

5.1.2 Objectifs et hypothèses

L'étude décrite dans ce chapitre vise l'évaluation de l'envie de manger à travers la visualisation, en RV, de visuels alimentaires ayant différents niveaux de qualité. Cette évaluation sera également mise en corrélation avec le type de visuels évalués ainsi que les habitudes alimentaires des participants.

Dans ce chapitre, l'envie de manger, qui sera au coeur de l'évaluation présentée, est à différencier du craving alimentaire : l'envie de manger est une sensation normale de faim, tandis que le craving est un désir intense et irrépressible (alimentaire ou autre).

Notre objectif principal est d'étudier l'effet de la qualité visuelle sur ce ressenti. En effet, puisque nous proposons ici une expérience utilisateur dans un environnement virtuel

contrôlé, nous pouvons facilement modifier les stimuli alimentaires, et ainsi la perception que les utilisateurs en ont, la vue étant un sens crucial pour l'alimentation et l'appétit chez les humains [214, 213]. De plus, nous nous attendons à ce que certains facteurs individuels puissent avoir un effet sur les réponses des utilisateurs aux stimuli alimentaires virtuels, ainsi que sur le type d'aliment [55, 9].

En conséquence, nous formulons les hypothèses suivantes :

— **Hy_1** : le désir de manger chez un utilisateur de réalité virtuelle est corrélé à la qualité visuelle du stimulus alimentaire, et diminue lorsque celle-ci est altérée.
— **Hy_2** : le désir de manger en réalité virtuelle dépend du type de nourriture présenté à l'utilisateur.
— **Hy_3** : le désir de manger en réalité virtuelle est influencé par les préférences alimentaires et les habitudes de l'utilisateur.

5.1.3 Enjeux et contributions

Les contributions potentielles de cette recherche sont multiples : tout d'abord, elle contribue à l'évaluation sensorielle à travers des dispositifs immersifs, ouvrant ainsi de nouvelles perspectives pour étudier les réponses sensorielles aux stimuli alimentaires dans un environnement virtuel. De plus, en terme de sobriété numérique, elle vise à déterminer le juste nécessaire en termes de qualité visuelle et de complexité pour une application donnée, ce qui est essentiel pour concevoir des expériences virtuelles plus accessibles, efficaces et efficientes.

5.2 Visuels 3D des aliments

La création d'une base d'éléments alimentaires en 3D avec différents niveaux de qualité a été une étape cruciale dans la conception de notre étude. Notre procédure de création a d'abord impliqué la sélection précise et la validation d'une liste de modèles alimentaires 3D de référence selon des critères liés à l'attrait de ces aliments, à leur qualité visuelle et à leur réalisme. Nous avons ensuite choisi une méthode pour créer des modèles de différentes qualité en simplifiant la géométrie et la texture de ces modèles de référence. Enfin, étant donné que la qualité visuelle telle que perçue par un utilisateur n'est pas proportionnelle aux paramètres quantitatifs de la simplification d'un objet 3D, nous avons utilisé une métrique éprouvée et testée pour classer avec précision ces modèles selon un score prédit de qualité perçue, pour finalement sélectionner un ensemble de stimuli. Ces différentes étapes sont détaillées ci-dessous.

5.2.1 Critères de sélection

Notre objectif est de sélectionner des modèles 3D de très haute qualité graphique susceptibles d'induire un désir de manger. 4 contraintes furent établies :

— le modèle doit être issu d'un processus de création photogrammétrique qui offre un aspect beaucoup plus réaliste que la modélisation 3D ;
— le modèle doit être constitué d'un maillage polygonal qui contient un nombre minimum 10 000 faces ;
— le modèle doit contenir une seule carte de texture (color map) de couleur, afin d'assurer des opérations de simplification cohérentes entre les modèles ;
— la carte de texture (color map) doit avoir une taille minimale de 2048 pixels × 2048 pixels.

5.2.2 Sélection des modèles de référence

Notre procédure de création a d'abord impliqué la sélection précise et la validation d'une liste de modèles d'aliments 3D de référence selon des critères liés à l'attrait de ces aliments.

5.2.2.1 Bases d'images existantes

Cette première sélection s'est d'abord faite grâce à l'exploration de plusieurs travaux antérieurs ayant initié des tentatives de classification de visuels d'aliments sur la base de plusieurs critères, y compris sur le désir de manger ressenti. En particulier, les travaux de Blechert et coll. de 2019 [25] (FoodPics extended), qui ont étudié la manière dont la visualisation d'images alimentaires affecte les réponses émotionnelles et cognitives des individus, à travers une banque de données de 896 images d'aliments. Dans les résultats recueillis auprès de 245 participants ayant évalué les images figurent l'envie de manger (noté en allemand "Verlangen" sur le questionnaire d'origine, traduite en "desir to eat" dans l'étude, mais traduite en "craving" dans le recueil de données), qui nous a servi de critère pour orienter nos choix.

Le critère "envie de manger" a été divisé selon le type de régime (omnivore ou végétarien) ainsi que le genre du participant (masculin ou féminin). En considérant les 40 premiers aliments les mieux notés pour les panels omnivores :

— pour le panel masculin, les plats principaux avec accompagnement occasionnel (tranches de fromage, rôti de bœuf, pâtes à la sauce tomate, cheeseburger, frites

et cola, sandwich au rôti de bœuf, saumon et épinards, pizza et steaks) sont les plus représentés. Les desserts (gâteau, cupcake, sundae, pralines, beignets et pâtisseries) ainsi que les fruits (baie, mûre, raisin, fraise, framboise, cerise et pêche) sont également représentés ;

— pour le panel féminin, les fruits sont majoritaires (baies, fraise, framboise, myrtille, cerise, pastèque, raisin, kiwi), suivis des plats principaux avec accompagnement occasionnel (frite, rondelles d'oignon, tomate et mozzarella, sandwich, salade, nouille, pomme de terre).

D'autres travaux ont souligné l'attrait supérieur des aliments à haute teneur calorifique à travers l'évaluation d'images représentant ces aliments.

Citons les travaux de Foroni et coll. de 2013 [91] qui proposent une base de 877 images nommée Food Cast Research Image Database (FRIDa) appartenant à huit catégories différentes, dont 3 faisant référence à des aliments (aliments naturels (ex : fraise) , aliments transformés (ex : frites), aliments pourris (ex : banane moisie)). Les images ont été notées par un panel de 86 personnes, sur la base de critères qualitatifs : valence, familiarity, typicality, et arousal. Ce dernier, qui peut se traduire pas "intérêt", est décrit comme "d'une manière ou d'une autre, lié au désir de consommer immédiatement un aliment" lorsqu'il s'agit d'une image d'aliment. Les résultats montrent des notes supérieures pour les aliments transformés, avec les desserts et sucreries en premier, suivi des plats et accompagnements, constitués majoritairement de féculents.

Les travaux de King et coll. de 2018 [136] montrent également à travers une évaluation d'images d'aliments extraits d'une sélection préalablement validée [161] des scores supérieurs pour les aliments très calorifiques par rapport aux aliments peu calorifiques, à travers une évaluation *via* des critères qualitatifs (visual interest, appetitive quality, nutrition, emotional valence, liking, et frequency of consumption), corrélée à des données d'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle révélant certaines zones d'activation.



FIGURE 5.1 – Pre-sélection des 38 modèles 3D d'aliment depuis Sketchfab avec liens de référence : **1** : mangue ; **2** : tortilla de maïs ; **3** : sushis ; **4** : friand à la saucisse ; **5** : biscuits apéritifs ; **6** : choux à la crème ; **7** : cerise ; **8** : Roulé à la cannelle ; **9** : côte de bœuf ; **10** : pêche ; **11** : Paris-Brest ; **12** : poire conférence ; **13** : nugget de poulet ; **14** : bol de céréales ; **15** : muffin ; **16** : gâteau tranché ; **17** : kiwi ; **18** : bagel ; **19** : poulet rôti ; **20** : plateau de fromage ; **21** : tranche de pastèque ; **22** : Kouign-Amann ; **23** : burger classique ; **24** : éclair à la crème ; **25** : miche de pain ; **26** : dessert à la pistache ; **27** : saucisson ; **28** : pomme ; **29** : tartelette aux framboises ; **30** : brioche tressée ; **31** : cookie ; **32** : banane ; **33** : donut ; **34** : pâtes ; **35** : bol de bonbons ; **36** : hotdog ; **37** : part de pizza ; **38** : pain au chocolat.

5.2.2.2 Sélection préliminaire

L'analyse des bases d'images annotées nous a permi d'effectuer une large recherche et une pré-sélection des modèles 3D à partir du site Sketchfab, une plateforme en ligne de modèles 3D pouvant être partagés librement. Nous avons réalisé une collection comprenant 38 modèles 3D [1]. Cette recherche comprenait des mots ou des combinaisons des mots suivants : "food", "junk", "salted food", "sweet food" or "drink". Les modèles sont illustrés sur la Fig. 5.1. Les détails sur les dénominations, formats d'origine, auteurs, liens et licences Sketchfab sont présentés dans l'annexe A.16.

Nous avons mené une étude préliminaire où nous avons demandé à 6 participants (4 hommes, 2 femmes, âge moyen = 26,7 (écart-type = 5,25)) de noter ces modèles alimentaires en répondant à la question suivante : "Indiquez dans quelle mesure chaque modèle alimentaire vous donne envie de manger", sur une échelle discrète de 1 à 10, où 1 = "pas du tout", 5 = "modéré" et 10 = "beaucoup". Les modèles 3D ont été affichés à l'aide du moteur de rendu 3D intégré de Sketchfab, avec les paramètres de rendu par défaut pour chaque modèle. Les participants pouvaient déplacer, faire pivoter et redimensionner les modèles, sans limite de temps. L'annexe A.17 présentent les résultats de cette étude.

5.2.2.3 Sélection finale

Afin de trouver un juste équilibre entre le nombre de modèles alimentaires à évaluer et le temps d'immersion nécessaire, seuls 10 modèles de référence ont été conservés sur les 36 de la sélection préliminaire. Ces modèles ont été choisis en fonction de leurs évaluations préliminaires présentées ci-dessus ainsi que des retours des experts cliniciens du CHU de Saint-Étienne en nutrition et en troubles alimentaires. Suite à ces discussions, certains éléments ont été retirés de la sélection initiale malgré de bons scores dans leur évaluation (voir annexe A.17) :

- la côte de bœuf, jugée peu reconnaissable après plusieurs tests en RV ;
- le bagel et la brioche tressée, afin d'éviter la redondance avec d'autres produits similaires tels que les pâtisseries ;
- le nugget, car la présence d'un seul nugget dans un plat peut nous sembler peu ordinaire.

Les illustrations visuelles de la sélection finale de modèles alimentaires de référence ainsi que leurs statistiques de géométrie et de textures sont présentées dans la Fig. 5.2 et dans le Tab. 5.1.

1. https://sketchfab.com/florianramousse/collections/first-selection-realism



FIGURE 5.2 – Visuels des 10 modèles de référence sélectionnés

	Nombre de vertices	Nombre de triangles	Résolution de la color map
1-Pain au chocolat	8 856	17 590	4 096 x 4 096
2-Gâteau tranché	35 853	71 702	2 048 x 2 048
3-Cookie	31 202	62 400	4 096 x 4 096
4-Muffin	71 472	142 940	2 048 x 2 048
5-Eclair à la crème	60 480	120 980	2 048 x 2 048
6-Roulé à la cannelle	121 426	243 024	2 048 x 2 048
7-Part de pizza	353 297	703 342	4 096 x 4 096
8-Sushis	18 807	37 593	2 048 x 2 048
9-Tartelette aux framboises	255 731	511 541	8 192 x 8 192
10-Paris–Brest	5 438	10 888	4 096 x 4 096

TABLE 5.1 – Propriétés géométriques et cartes de texture des 10 modèles de référence sélectionnés

5.3 Créations et sélection des niveaux de qualité des aliments 3D

Afin de créer des niveaux de qualité issus des 10 aliments 3D choisis, nous avons décidé de nous intéresser aux 2 paramètres principaux permettant d'altérer la rendu visuel, qui sont la résolution du maillage, et la résolution des cartes de texture. Il convient de rappeler que dans un modèle 3D réaliste, le maillage géométrique définit la structure tridimensionnelle de l'objet, tandis que les cartes de texture fournissent les détails de surface et l'apparence de l'objet (voir Fig 5.3).

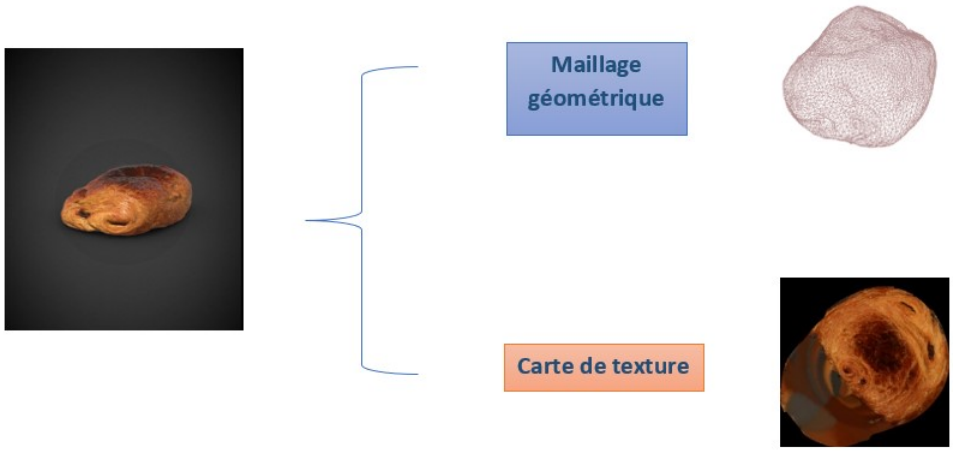


FIGURE 5.3 – Schéma présentant les deux composantes principales d'un objet 3D (maillage géométrique et carte de texture)

5.3.1 Résolution du maillage

Pour opérer une modification de la résolution du maillage, il est nécessaire de réduire le nombre de faces du modèle. L'algorithme de réduction des arêtes par estimation quadratique (quadric edge collapse decimation) développé par Garland et coll. en 1997 [96] permet de simplifier de manière itérative chaque modèle alimentaire tout en conservant le mieux possible la forme du modèle : à chaque itération, l'arête qui engendre la modification géométrique du modèle la plus petite est supprimée, permettant la jonction des faces qu'elle séparait. L'opération peut être limitée et contrôlée *via* des paramètres de contraintes, comme le nombre de face minimum par exemple. En 1998, une amélioration

est apportée pour prendre en compte les informations de texture de chaque face, de façon à préserver autant que possible l'apparence visuelle résultante [95].

Nous avons utilisé ce filtre disponible depuis le logiciel open-source Meshlab [59]. Les paramètres par défaut ont été appliqués : un seuil de qualité égal à 0,3, un poids de l'importance de la texture et un poids de préservation des bords à 1. Le calcul de la position optimale des sommets a aussi été appliqué.

Nous devions ensuite définir la quantité de face à réduire pour chaque modèle. Après des essais réduisant de 1 000 par itération, puis de 50 % par itération, nous avons finalement choisi de réduire le nombre de faces cibles pour chaque itération par 1,2 (réduction de 16,67 %) jusqu'à ce que la version la moins détaillée possible soit obtenue (lorsque le filtre ne permettait plus la suppression d'une face supplémentaire) :

$$F_i = \left\lfloor \frac{5}{6} \times F_{i-1} \right\rfloor$$

où F représente le nombre de face et i l'itération de réduction du nombre de face.

Nous avons automatiquement exécuté toutes les opérations de simplification en utilisant la bibliothèque Python pymeshlab [171]. Certains modèles ont été soumis à des réparations topologiques de suppression de trous et de sommets dupliqués.

Nous avons obtenu un total de 410 versions simplifiées à partir des 10 modèles de référence (entre 33 et 50 modèles simplifiés pour chaque référence). Les maillages les plus grossiers comportaient entre 4 et 862 triangles (voir Fig 5.4).

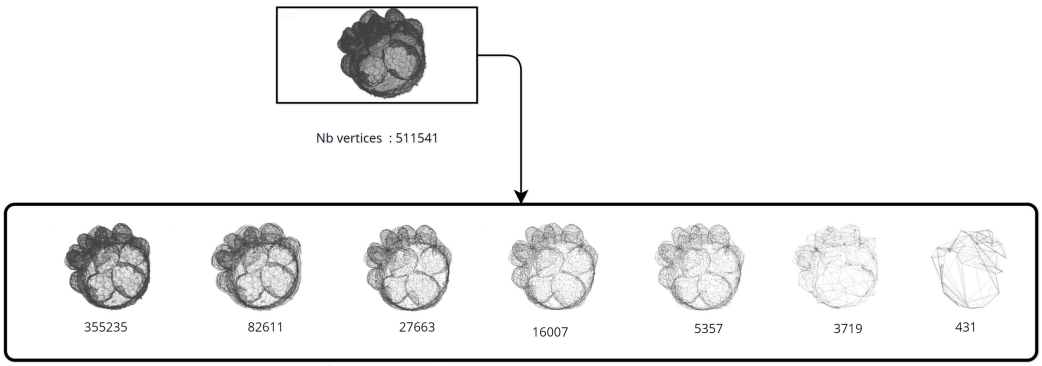


FIGURE 5.4 – Caption : Détail sur la génération de 7 maillages simplifiés pour le modèle 3D de tartelette aux framboises (le nombre réel total généré pour ce modèle est de 41).

5.3.2 Résolution de la carte de texture

Nous avons appliqué le même principe de réduction de la résolution aux cartes de texture des modèles. Pour tous les modèles, nous avons d'abord converti toutes les color map au format PNG d'une résolution de 2K (taille de texture normalisée : 2048 × 2048 pixels).

Pour réduire la résolution de la texture, nous avons réduit par deux les tailles des dimensions en conservant les proportions d'origine, jusqu'à atteindre une résolution de 256 × 256 pixels.

Nous avons ainsi obtenu, pour chaque modèle, un ensemble de 4 images de texture : 2048 × 2048 pixels, 1024 x 1024, 512 x 512 et 256 × 256 pixels, et ce pour chaque modèle alimentaire (voir Fig 5.5).

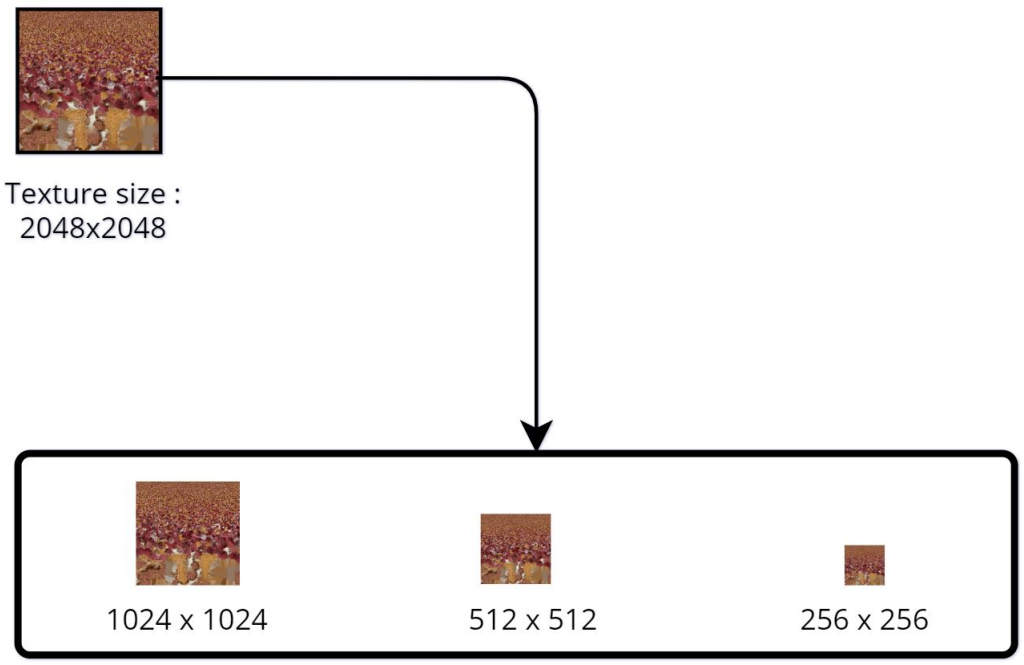


FIGURE 5.5 – Détail sur la génération des 3 tailles de texture pour le modèle 3D de tartelette aux framboises

5.3.3 Évaluation et sélection des niveaux de qualité des aliments 3D

La création des différents niveaux de résolution du maillage et de la carte de texture a engendré un nombre important de versions "altérées" pour chaque modèle de référence. En effet, chaque niveau de résolution de la texture peut être combiné à chaque niveau de résolution du maillage. Une sélection rigoureuse de ces versions altérées représentant des niveaux croissants de qualité visuelle pour chaque modèle de référence devient donc nécessaire. Par ailleurs, cette sélection doit présenter des niveaux de qualité visuelle perçue équivalents entre tous les modèles de référence.

Pour piloter cette sélection, nous avons utilisé la métrique de qualité récente basée sur l'apprentissage profond de Nehmé et coll. publiée en 2023 [176]. Cette métrique a été entraînée sur un ensemble de données de 3 000 modèles 3D texturés associés à des scores de qualité subjectifs obtenus à partir d'une étude subjective à grande échelle. Cette métrique est capable de calculer un score de qualité prédit appelé Q à partir d'un modèle 3D de référence et d'une version altérée à comparer (donnée d'entrée de la métrique). Q varie de 1 à 5 et reflète le niveau perçu de la dégradation visuelle avec l'échelle suivante : 1 - Very Annoying (Très irritant) ; 2 - Annoying (Irritant) ; 3 - Slightly annoying (Légèrement irritant) ; 4 - Perceptible but not annoying (Perceptible mais non irritant) ; 5 - Imperceptible (Imperceptible).

Nous avons utilisé cette métrique pour classer et sélectionner nos stimuli.

Pour chaque modèle alimentaire de référence, le nombre de versions altérées générées (égal au nombre de niveaux de détails de géométrie $\times$ le nombre de tailles de texture) se situe entre 124 (Paris-Brest) et 204 (gâteau tranché et cookie).

Nous avons exécuté la mesure de qualité décrite dans la partie précédente sur chacune de ces versions altérées. Nous avons ainsi obtenu, pour chacune d'entre elles, un Q compris entre 1 et 5.

Après des tests en interne, les modèles dont Q était compris entre 1 et 2 sont apparus comme bien trop dégradés et ont été jugés difficilement identifiables par rapport à leur représentation attendue. Nous avons donc sélectionné, pour chaque modèle de référence, 7 versions altérées correspondant aux valeurs de Q suivantes : 2 ; 2,5 ; 3 ; 3,5 ; 4 ; 4,5 et 5.

La Fig. 5.6 présente le processus de création et de sélection des modèles finaux utilisés pour notre expérimentation. Les statistiques de résolution géométrique et de texture pour les 70 modèles sont présentées dans le Tab. 5.2. Les visuels de ces 70 modèles sont présentés dans l'annexe A.18.

Modèle 3D	Nombre de faces	Résolution de la color map	Pseudo-MOS
Pain au chocolat	25	1 024	2,27
	36	2 048	2,44
	148	256	3,03
	376	256	3,47
	17 590	256	3,98
	944	512	4,50
	17 590	2 048	5,00
Gâteau tranché	1 554	512	2,01
	1 294	1 024	2,50
	1 866	2 048	2,99
	71 702	512	3,45
	6 696	1 024	3,99
	41 490	1024	4,49
	71 702	2 048	5,00
Cookie	20	2 048	2,00
	46	2 048	2,50
	148	512	3,03
	650	1 024	3,48
	1 624	512	3,99
	14 508	256	4,50
	62 400	2 048	5,00
Eclair à la crème	350	256	1,98
	606	256	2,50
	1 820	256	3,01
	504	2 048	3,44
	1 050	1 024	4,05
	100 816	512	4,50
	120 980	2 048	5,00
Muffin	110	512	2,06
	284	256	2,49
	342	512	3,05
	2 584	256	3,50
	1 034	1 024	4,02
	3 724	512	4,50
	142 940	2 048	5,00
Roulé à la cannelle	708	2 048	2,00
	850	256	2,64
	1 224	256	3,00
	7 602	256	3,50
	1 764	512	4,05
	10 950	512	4,50
	243 024	2 048	5,00

Modèle 3D	Nombre de faces	Résolution de la color map	Pseudo-MOS
Part de pizza	1 709	2 048	1,99
	31 699	256	2,49
	7 368	512	3,09
	18 341	512	3,49
	10 611	1 024	4,02
	45 647	1 024	4,49
	703 342	2 048	5,00
Sushis	1 407	256	2,00
	3 509	256	2,50
	1 407	2 048	2,99
	2 435	2 048	3,50
	4 211	2 048	4,00
	10 489	1 024	4,49
	37 593	2 048	5,00
Tart. aux framboises	5 357	256	1,98
	3 719	1 024	2,46
	16 007	256	3,00
	82 611	256	3,50
	27 663	512	3,98
	355 235	512	4,51
	511 541	2 048	5,00
Paris-Brest	702	256	1,97
	404	1 024	2,50
	3 644	256	2,99
	1 462	512	3,50
	2 530	512	3,99
	10 888	512	4,51
	10 888	2 048	5,00

TABLE 5.2 – Caractéristiques géométriques et de textures des 70 modèles sélectionnés

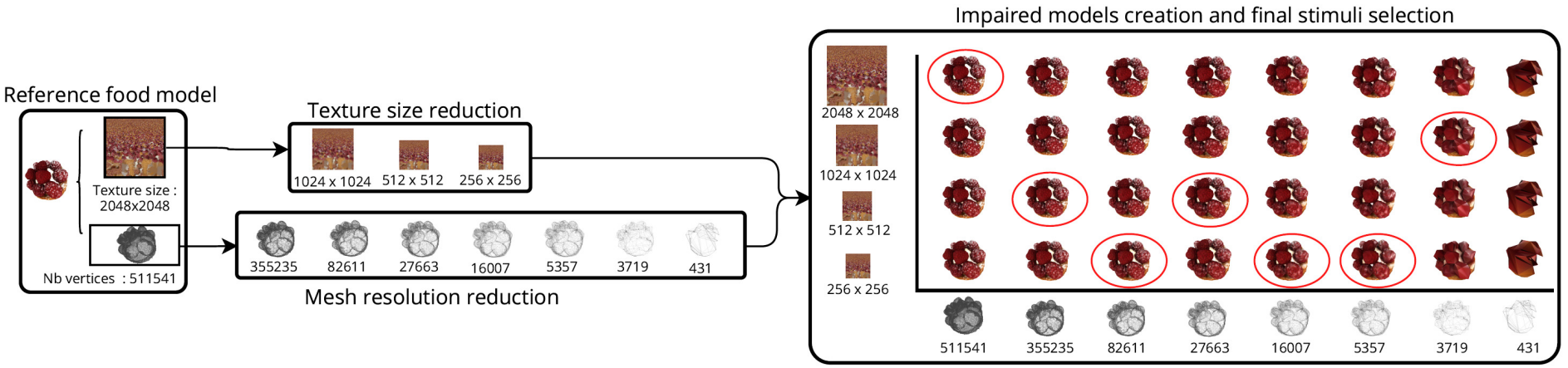


FIGURE 5.6 – Création de modèles altérés et sélection des modèles finaux pour le modèle 3D de tartelette aux framboises. Les cercles rouges correspondent aux 7 stimuli sélectionnés, avec des qualités visuelles croissantes. Notez que, pour la lisibilité de la figure, le nombre de résolutions de maillage a été réduit. Pour ce modèle 3D, le nombre réel est de 41 (en comptant le maillage d'origine), ce qui donne un total de 164 modèles altérés.

5.4 Environnement RV

5.4.1 Modélisation

L'intégralité de l'application a été développée au moyen du moteur de jeu Unity 3D, dans sa version 2020.3.17. Par ailleurs, certains éléments modélisés ont été créés à l'aide du logiciel de modélisation 3D Blender [61].

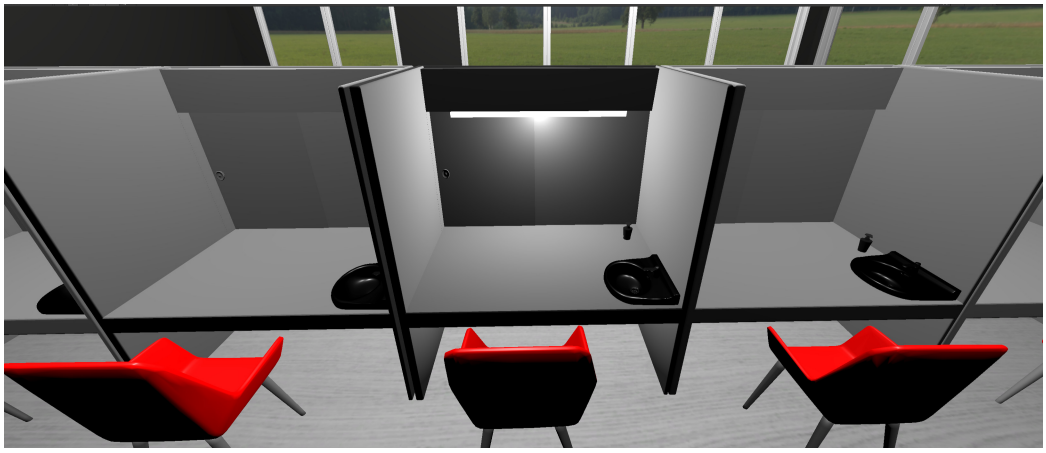
5.4.2 Aspects de l'environnement

L'environnement virtuel est destiné à évaluer l'envie de manger provoquée par des visuels d'aliments 3D ayant des niveaux de qualité visuelle variables. En conséquence, l'environnement répond à une série de critère s'apparentant à ceux d'une salle d'analyse sensorielle. Nous avons donc respecté les caractéristiques énumérées dans la norme ISO8589 :2007 [122], qui spécifie les exigences relatives aux salles d'analyse sensorielle. Cet environnement neutre nous permet d'isoler l'effet de l'apparence du modèle lui-même sur le désir de manger.

L'environnement est composé de plusieurs cabines identiques alignés sur la largeur de la pièce (voir Fig. 5.7). Chaque stand est constitué de trois murs entourant l'utilisateur, d'un guichet coulissant et d'un évier/cylindre. Les participants sont placés face à la cabine au centre de la pièce. Comme dans une véritable cabine d'analyse sensorielle, des modèles alimentaires en 3D sont présentés alternativement à travers la porte coulissante. L'environnement ne contient pas d'autres éléments pouvant potentiellement attirer l'attention de l'utilisateur.



(a)



(b)

FIGURE 5.7 – Aperçu de l'environnement destiné à l'évaluation de l'envie de manger : (a) vue avant des stands ; (b) vue rapprochée du stand d'évaluation

5.5 Choix du matériel

5.5.1 PC

Le PC utilisé pour embarquer la scène de RV contient les spécificités suivantes : INTEL® Xeon® W-2235 3.8 GHz, 32,0 Go de RAM, système d'exploitation 64 bits, processeur ×64, carte graphique NVIDIA Quadro RTX 4000.

5.5.2 Matériel RV

Pour un immersion accrue et une visualisation confortable des aliments 3D, un casque de RV Varjo XR3 a été choisi (voir Fig. 5.8), dont les spécifications techniques sont les suivantes :

— résolution dans la zone fovéale : 1 920 × 1 920 pixels par œil ;
— résolution dans la zone périphérique : 2 880 × 2 720 pixels par œil ;
— densité de pixel dans la zone fovéale : 70 pixels par degré ;
— densité de pixel dans la zone périphérique : plus de 30 pixels par degré ;
— champ de vision : 115° ;
— taux de rafraîchissement : 90 Hz ;
— affichage : uOLED pour la zone fovéale, LCD pour la zone périphérique.



FIGURE 5.8 – Vue du Varjo XR3. Extrait de [255]

Les contrôleurs Valve Index® ont été utilisés pour représenter des mains virtuelles animées dans l'environnement (voir Fig. 5.9a). Ils ont été choisis pour de leur design qui peut offrir des méthodes d'interactions plus intuitives par rapport à des contrôleurs classiques (voir Fig. 5.9b).

Nous avons utilisé le système de suivi SteamVR™ 2.0, associé à la plateforme SteamVR pour contrôler les paramètres de rendu.



(a)



(b)

FIGURE 5.9 – (a) Vue du contrôleur Valve Index Controller gauche ; (b) Vue du contrôleur Valve Index Controller droit tenu à la main par son strap

5.6 Expérimentation

5.6.1 Lieu d'expérimentation

La salle d'expérimentation choisie fût la salle expérimentale multisensorielle appartenant à la plateforme technologique ENISE - Centrale Lyon située à St-Étienne (voir Fig. 5.10a et Fig. 5.10b). Cette salle, de 30 m^2, est utilisée pour la réalisation d'expériences multisensorielles et pour l'acquisition et l'analyse du comportement des utilisateurs.

La configuration comprend une table et une chaise sur lesquelles se déroule l'entièreté de l'expérimentation. Pour augmenter l'immersion et faciliter l'appréhension des interactions, la taille et la position de la table étaient identiques à celles du stand affiché en RV. Après avoir aménagé une zone d'évolution exclusivement assise et procédé au positionnement précis du casque et de l'avatar en RV, le retour haptique perçu par l'utilisateur est synchronisé avec l'environnement affiché en premier plan, notamment au niveau de la table.

5.6.2 Participants

28 personnes (13 hommes et 15 femmes) ont été recrutées. Elles ont été réparties en 3 groupes d'âge (13 avaient entre 18 et 35 ans, 6 avaient entre 35 et 45 ans, et 9 avaient plus de 45 ans) ($\bar{x} = 37{,}00$, $\sigma = 13{,}89$). Les participants étaient considérés comme éligibles s'ils avaient au moins 18 ans, savaient lire, comprendre et parler clairement le français, ne présentaient aucun trouble alimentaire, intolérance, allergie, régime ou restriction alimentaire, et n'avaient pas mangé dans les deux heures précédant le début de l'expérimentation.

5.6.3 Planification et gestion de l'expérimentation

Le nombre total de stimuli à évaluer est de 70 (10 aliments de référence $\times$ 7 niveaux de qualité visuelle). Les stimuli ont été présentés dans un ordre pseudo-aléatoire, différent pour chaque participant. De plus, pour éviter les biais sur les scores de désir de manger, deux stimuli alimentaires du même type ne pouvaient pas être affichés consécutivement.

Néanmoins, des risques de cybercinétose avec ses symptômes et effets associés [135, 62], comme la fatigue et la lassitude [233, 29], sont probables lors d'une exposition prolongée en RV. De plus, Larson et coll. [141] ont constaté que le score de plaisir produit par les images alimentaires diminuait avec le nombre d'images alimentaires affichées, en comparant des séances de 20 stimuli avec des séances de 60 stimuli.



(a)



(b)

FIGURE 5.10 – (a) Vue générale de la salle expérimentale multisensorielle ; (b) Point de vue extérieur du dispositif d'expérimentation

Par conséquent, nous avons divisé toute l'évaluation en deux sessions de 35 stimuli, ce qui porte chaque session à une durée d'environ 15 minutes. De plus, 8 des 10 types de stimuli alimentaires étaient sucrés, conformément à la recommandation de Larson et coll. [141] (absence de l'effet susmentionné avec ce type d'aliments).

L'approbation éthique a été obtenue auprès du comité d'éthique de l'Université de Lyon (n°2022-03-17-004). Tous les participants à cette étude ont donné leur consentement, écrit et éclairé, pour y participer.

5.6.4 Critères d'évaluations

5.6.4.1 Avant l'immersion en RV

Avant chaque session d'exposition en RV, le participant est invité à remplir un questionnaire de pré-exposition. Ce questionnaire contient

- des questions démographiques (âge, genre, niveau d'étude) ;
- une évaluation de son désir global de manger au moment même du remplissage de ce questionnaire (sur une échelle discrète allant de 0 à 5) ;
- depuis quand le dernier repas a été consommé ;
- s'il fume (et si oui, depuis quand ils avaient consommé de la nicotine pour la dernière fois) ;
- s'il préfère les aliments sucrés ou salés ;
- une estimation de son expérience avec les technologies immersives (novice, intermédiaire ou expert).

5.6.4.2 Pendant l'immersion en RR

Pour collecter les scores de désir de manger de l'utilisateur, une première méthode d'évaluation testée fût l'utilisation d'un curseur permettant à l'utilisateur de faire varier le niveau de qualité de l'objet à sa guise, puis d'indiquer le niveau de qualité à partir duquel une envie de manger l'aliment représenté par l'objet 3D était ressentie. Une interface utilisateur, visible dans la Fig. 5.11, était utilisable *via* un pointeur (ray interactor). Le participant disposait d'un temps illimité pour visualiser le modèle. Il pouvait passer au modèle alimentaire suivant en appuyant sur le bouton "Nouvel Aliment".

Cette méthode avait néanmoins ses limites :

— l'utilisateur pouvait construire son jugement sur la base du premier modèle 3D affiché, ce qui constituait un biais de sélection ;
— l'utilisateur pouvait également juger son envie de manger sans avoir à visualiser tous les niveaux de qualité d'un modèle 3D ;
— enfin, cette méthode pouvait détecter un seuil de qualité visuelle, mais elle ne permettait pas de constituer un jeu de données suffisant entre la qualité visuelle d'un objet 3D et sa capacité à déclencher une envie de manger.

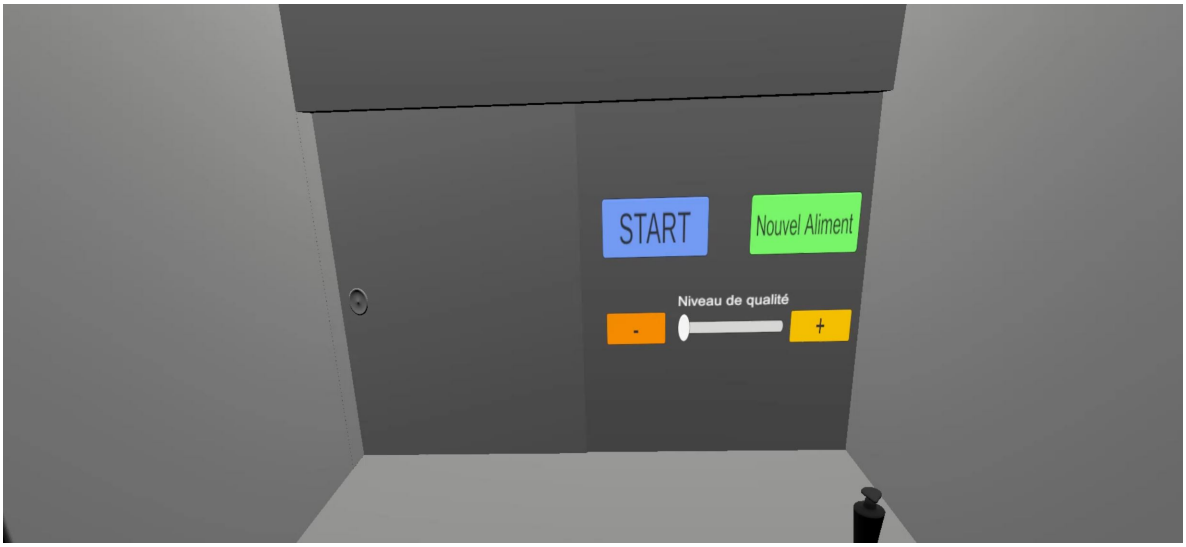


FIGURE 5.11 – Première interface utilisateur

Par la suite, nous nous sommes tournés vers une méthode incluant l'évaluation systématique des 70 visuels. Chaque visuel était présenté dans un ordre pseudo-aléatoire : pour chaque participant, une liste organisée avec précision a été préparée, déterminant l'ordre d'apparition des visuels. Une condition importante lors de l'élaboration de ces listes était que deux visuels représentant le même aliment 3D ne pouvaient pas se succéder.

La présentation du visuel est suivi d'une question formulée comme suit : "À quel point estimez-vous votre désir de manger ?". Une échelle discrète allant de 0 à 10 est utilisée et présentée au participant, avec la valeur 0 traduite par "pas du tout", et 10 par "extrêmement". Le participant dispose d'un temps illimité pour visualiser le modèle. Il peut passer au modèle alimentaire suivant en appuyant sur le bouton "Valider".

Le questionnaire estconçu pour être intégré et affiché directement dans l'environnement virtuel, car les questionnaires implémenté en RV ont montré une réduction du temps

d'étude, moins de désorientation, une meilleure cohérence dans la variance des résultats collectés [221] et sont préférés par les utilisateurs par rapport à l'utilisation de questionnaires externes [3]. Pour une interaction plus naturelle, la réponse souhaitée est sélectionnée en la touchant sur le questionnaire avec le doigt de l'utilisateur. Des capteurs capacitifs de force intégrés aux contrôleurs et pouvant détecter les positions des index, majeurs et annulaires permettent de déclencher une animation de la main virtuelle reproduisant le même mouvement que celui effectué (voir section 5.5.2). Les Fig. 5.12a et 5.12b présentent un exemple de modèle 3D vu par un utilisateur et le questionnaire avec le type d'action à réaliser pour noter un modèle 3D.

5.6.4.3 Après l'immersion en RV

A la suite de la deuxième session de l'expérimentation, le participant est invité à remplir un questionnaire de post-exposition portant sur ses habitudes alimentaires personnelles en relation avec les stimuli alimentaires qu'ils a visualisés durant les deux sessions. Pour chaque aliment, la question posée est de la forme "À quel point aimez-vous cet aliment ?", suivie d'une échelle de Likert à 5 niveaux : 1-pas du tout ; 2-pas vraiment ; 3-neutre ; 4-un peu ; 5-beaucoup.

5.6.5 Procédure expérimentale

La procédure expérimentale comprend quatre phases principales :

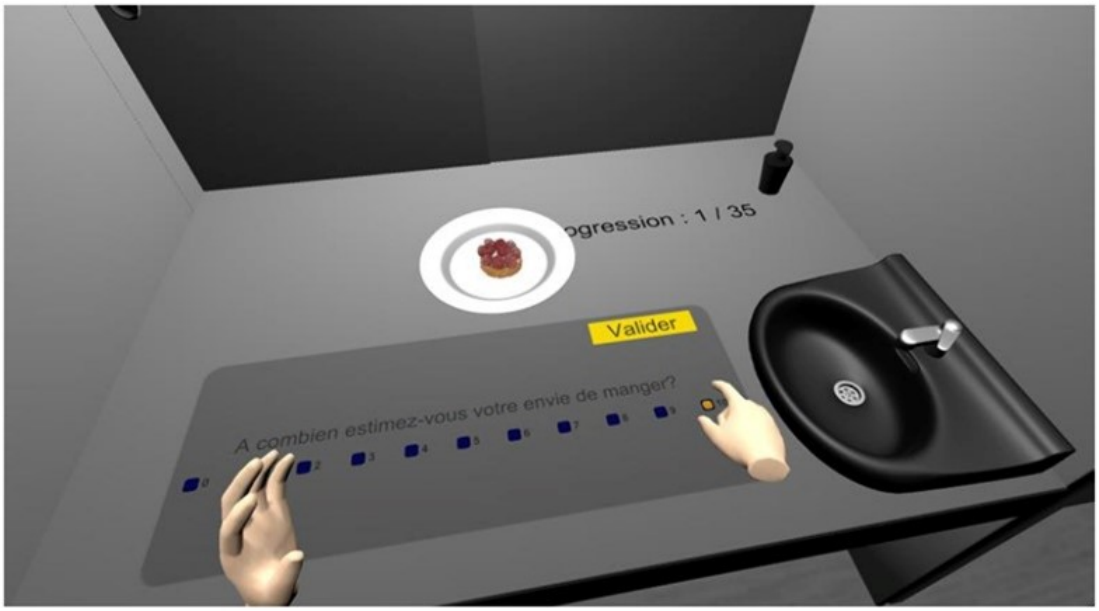
1. Accueil et questionnaire de pré-exposition, consentement écrit.
2. Information des participants.
3. Immersion en RV.
4. Débriefing et questionnaire de post-exposition.

Après l'accueil du participant, celui-ci remplit d'abord un consentement pour sa participation à l'expérience et l'utilisation de ses données. Ensuite, il complète le questionnaire de pré-exposition.

Pendant la deuxième phase (information), nous informons le participant sur l'environnement en RV, les évaluations à effectuer, et l'utilisation du casque et des contrôleurs. Une description orale de l'environnement dans lequel il est immergé est également fournie. Le participant peut poser autant de questions sur le déroulement de l'expérimentation qu'il souhaite, tant que ses demandes ne peuvent pas influencer ses évaluations futures. Ensuite,



(a)



(b)

FIGURE 5.12 – (a) Modèle 3D vu par un utilisateur ; (b) Seconde interface utilisateur, validée pour l'expérimentation

la scène en RV est lancée et le participant est invité à s'asseoir sur la chaise, l'ajuster à sa hauteur et mettre le casque de RV et les contrôleurs.

Dans l'environnement en RV, un bouton de démarrage apparaît au centre de la table, permettant au participant de commencer l'évaluation. Chaque évaluation se déroule comme suit : la trappe de la cabine s'ouvre et un modèle alimentaire, présenté sur une assiette (ou sur une planche en bois pour les sushis) pour respecter les coutumes de service, arrive devant le participant grâce à une animation. L'assiette tourne pendant cinq secondes devant le participant, avant de s'éloigner légèrement. Ensuite, le questionnaire d'envie de manger est présenté au participant sur la table du stand en présence du modèle 3D de l'aliment. Après avoir noté, le modèle retourne derrière la trappe avec une animation, avant qu'un nouveau modèle alimentaire 3D n'arrive.

Pour chaque participant, les deux sessions sont réalisées le même jour ou à quelques jours d'intervalle. Les créneaux horaires sont discutés et identifiés avec des experts cliniques du CHU de Saint-Etienne, entre 10h00 et 12h30, et entre 16h00 et 18h00.

Dans la dernière phase, un débriefing oral est mené avec le participant directement après avoir retiré le casque de RV. L'entretien est axé spécifiquement sur les sentiments du participant concernant la conception alimentaire, la simulation RV et le confort des interactions.

À la suite de la deuxième session, le participant est invité à remplir un questionnaire de post-exposition portant sur ses habitudes alimentaires personnelles en relation avec les stimuli alimentaires qu'il a visualisés durant les deux sessions. Pour chaque aliment, la question posée est de la forme "À quel point aimez-vous cet aliment ?", suivie d'une échelle de Likert à 5 niveaux : 1-pas du tout ; 2-pas vraiment ; 3-neutre ; 4-un peu ; 5-beaucoup.

5.7 Résultats

2 des 28 participants ont été exclus des analyses en raison d'évaluations incongrues :

— l'un a été déclaré "non réactif à l'environnement de réalité virtuelle" en raison d'un score de désir de manger de 0 pour tous les modèles 3D lors de la première session d'exposition. La deuxième session n'a pas été maintenue. Lors du debriefing, le participant a déclaré "Je ne peux pas me projeter dans l'environnement virtuel ; je ne peux pas dire "Je peux le manger"" ;

— l'autre participant exclu présentait des valeurs aberrantes dans ses réponses aux questions. Les valeurs étaient considérées comme aberrantes lorsqu'elles étaient inférieures au premier quartile - 3 * intervalle interquartile (IIQ) ou supérieures au troisième quartile + 3 * IIQ, sur l'ensemble des résultats des participants).

Nous avons donc considéré un échantillon de 26 participants. En raison de la taille de cet échantillon, et parce que les données collectées sont ordinales, nous avons utilisé des tests non paramétriques pour effectuer les analyses. Le niveau de significativité a été fixé à 5 %.

5.7.1 Analyse du questionnaire de pré-exposition

Les questions du questionnaire de pré-exposition ont tout d'abord été analysées.

L'analyse des données démographiques (genre, âge, niveau d'éducation) par rapport aux scores d'envie de manger, tout comme le désir global de manger, le moment où les participants ont pris leur dernier repas, leurs habitudes de tabagisme et leur expérience avec les technologies immersives n'ont donné aucun résultat significatif.

5.7.2 Effet général de la qualité visuelle et du type d'aliment 3D sur le désir de manger

Le but était ensuite d'évaluer l'effet général de la qualité et du type d'aliment sur les scores d'envie de manger établis, tout en considérant l'intéraction possible entre ces deux effets. Nous avons donc réalisé une ANOVA à mesures répétées à deux facteurs en utilisant la méthode de l'Alignement des Rangs Transformés (en anglais, Aligned Rank Transform ou*ART*) [268], après quoi des procédures ANOVA courantes peuvent être utilisées. Les résultats montrent une influence significative des deux facteurs, mais aucune influence due à l'interaction entre eux (voir Tab. 5.3).

Facteur	**F-valeur**	**p-value**	**Taille d'effet η^2**
Niveau de qualité	39,36	5,21e-45	0,12
Type d'aliment	39,86	1,68e-58	0,16
Intéraction	0,82	0,82	0,025

TABLE 5.3 – Résultats d'une ANOVA à deux facteurs, après un traitement avec la méthode ART, de la qualité visuelle, du type d'aliment 3D et de l'interaction de ces deux facteurs sur le désir de manger

Nous avons également effectué des comparaisons par paires *post-hoc* de Wilcoxon entre les niveaux de qualité et les types de nourriture. Les résultats sont détaillés dans les sections ci-dessous.

5.7.3 Envie de manger et qualité visuelle

Le Tab. 5.4 présente les comparaisons appariées de Wilcoxon entre les différentes combinaisons de niveaux de qualité (les p-values sont calculées avec des corrections de Benjamini et Hochberg (*BH*)[20]. Les tests ont été effectués après une vérification au préalable de la normalité de chaque échantillon testé, qui n'est vérifié dans aucune combinaison comme le montre la Tab. 5.5.

Il convient de rappeler que les niveaux de qualité se réfèrent aux valeurs pseudo-MOS estimées pour tous les stimuli visuels : le niveau 1 correspond à une pseudo-MOS de 2 (qualité la plus basse) et le niveau 7 à une pseudo-MOS de 5 (meilleure qualité). La Fig. 5.13 présente les distributions des notes de désir de manger par niveau de qualité, montrant l'influence du niveau de qualité sur l'envie de manger.

Nous avons trouvé les résultats suivants :

— le niveau 1 et le niveau 2 ont des scores de désir de manger significativement plus bas que les autres niveaux ($p<0{,}001$) et sont légèrement différents l'un de l'autre ($p=0{,}038$) ;
— les niveaux 3, 4 et 5 forment un groupe supérieur avec des valeurs significativement plus élevées que le groupe précédent ($p<0.001$), mais avec des valeurs significativement plus basses que les niveaux 6 et 7 ($p<0.001$), qui forment le dernier groupe ;
— le niveau 3 est également significativement plus bas que le niveau 5 ($p=0.0088$), de manière modérée.

La Figure 5.14 synthétise nos résultats en termes de différences significatives entre les niveaux.

Comparaison de niveaux	Statistique Wilcoxon W	p -value
Niveau 1-Niveau 2	8 364	0,038
Niveau 1-Niveau 3	6 621	<0,001
Niveau 1-Niveau 4	5 197	<0,001
Niveau 1-Niveau 5	5 434	<0,001
Niveau 1-Niveau 6	4 135	<0,001
Niveau 1-Niveau 7	3 841	<0,001
Niveau 2-Niveau 3	7 246	0,000040
Niveau 2-Niveau 4	5 568	<0,001
Niveau 2-Niveau 5	6 294	<0,001
Niveau 2-Niveau 6	5 221	<0,001
Niveau 2-Niveau 7	6 026	<0,001
Niveau 3-Niveau 4	10 705	0,063
Niveau 3-Niveau 5	9 235	0,0088
Niveau 3-Niveau 6	8 423	<0,001
Niveau 3-Niveau 7	7 111	<0,001
Niveau 4-Niveau 5	10 563	0,41
Niveau 4-Niveau 6	9 572	0,014
Niveau 4-Niveau 7	8 738	0,0022
Niveau 5-Niveau 6	9 592	0,034
Niveau 5-Niveau 7	8 550	0,030
Niveau 6-Niveau 7	10 034	0,53

TABLE 5.4 – Résultats des comparaisons appariées de Wilcoxon entre les différents niveaux de qualité des modèles 3D. Les lignes en jaune correspondent à des comparaisons significatives (p-value<0,05)

Comparaison de niveaux	**Statistique Shap.-Wilk W**	**p-value**
Niveau 1-Niveau 2	0,97	<0,001
Niveau 1-Niveau 3	0,98	0,0017
Niveau 1-Niveau 4	0,98	<0,001
Niveau 1-Niveau 5	0,98	<0,001
Niveau 1-Niveau 6	0,99	0,013
Niveau 1-Niveau 7	0,97	<0,001
Niveau 2-Niveau 3	0,97	<0,001
Niveau 2-Niveau 4	0,97	<0,001
Niveau 2-Niveau 5	0,99	0,016
Niveau 2-Niveau 6	0,98	0,0016
Niveau 2-Niveau 7	0,98	0,0012
Niveau 3-Niveau 4	0,98	0,0014
Niveau 3-Niveau 5	0,97	<0,001
Niveau 3-Niveau 6	0,98	0,0048
Niveau 3-Niveau 7	0,98	<0,001
Niveau 4-Niveau 5	0,98	<0,001
Niveau 4-Niveau 6	0,98	0,0024
Niveau 4-Niveau 7	0,97	<0,001
Niveau 5-Niveau 6	0,98	<0,001
Niveau 5-Niveau 7	0,96	<0,001
Niveau 6-Niveau 7	0,96	<0,001

TABLE 5.5 – Résultats des tests de normalité de Shapiro-Wilk entre les différents niveaux de qualité des modèles 3D. Une p-value inférieure à 0,05 indique une violation de la normalité.

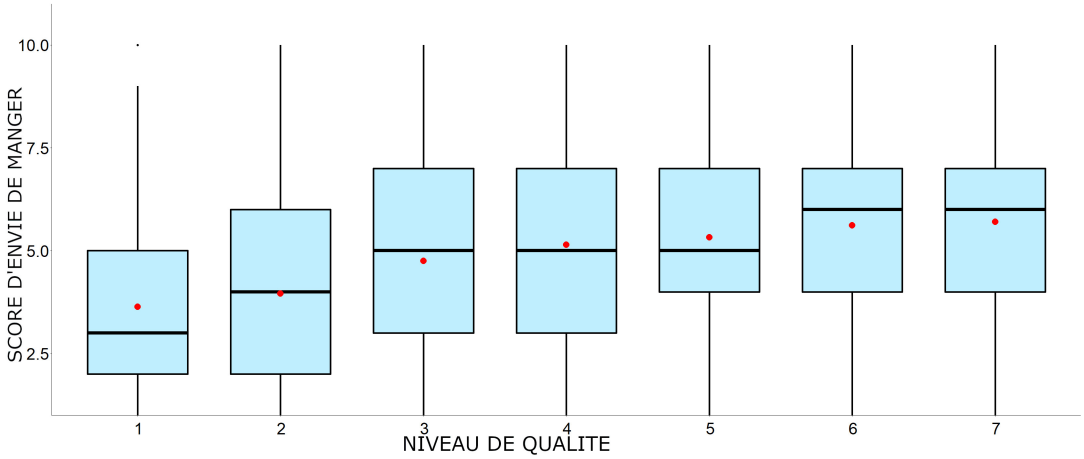


FIGURE 5.13 – Distributions des scores de désir de manger par niveau de qualité visuelle. Les valeurs moyennes sont représentées par des cercles rouges

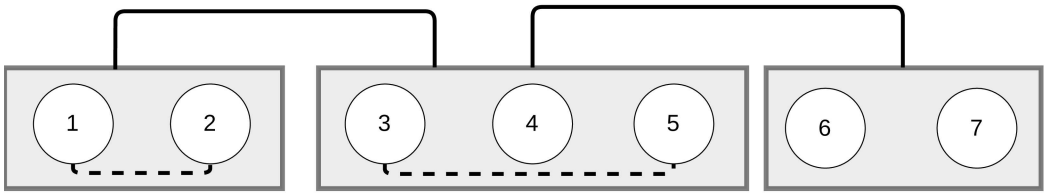


FIGURE 5.14 – Groupes d'équivalence statistique au sein desquels aucune différence significative n'est observée. Les différences très significatives (p-value > 0.001) sont représentées par des lignes pleines, et les différences légèrement significatives (p-value > 0.05) sont représentées par des pointillés.

5.7.4 Envie de manger et type d'aliment

Le désir de manger suscité est également affecté par le type de nourriture présentée (c'est-à-dire, le modèle alimentaire de référence, quelle que soit sa qualité). La Fig. 5.15 illustre les distributions des scores de désir de manger selon les modèles de nourriture de référence (classés par score moyen).

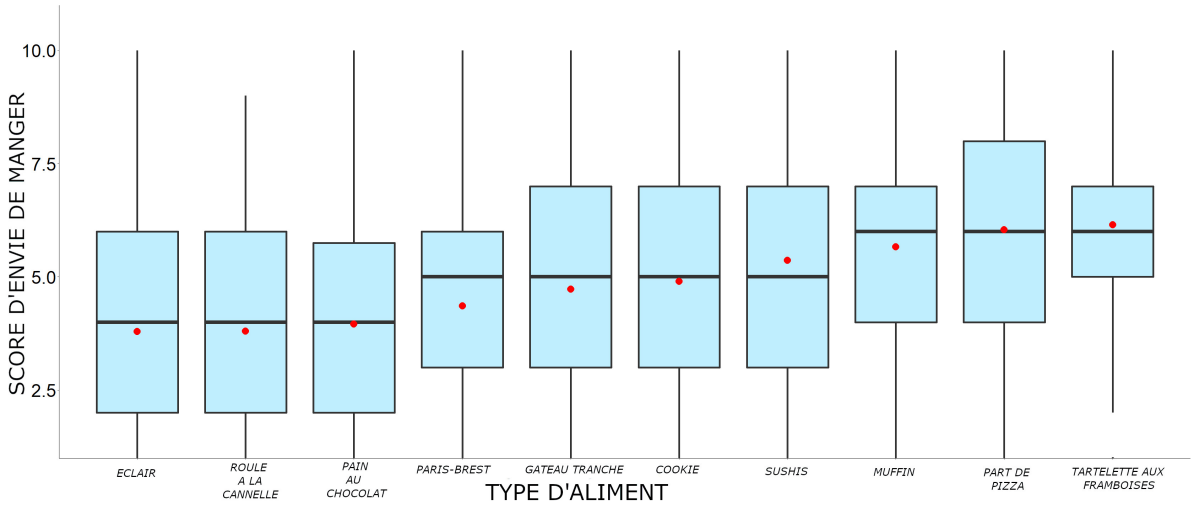


FIGURE 5.15 – Distribution des scores de désir de manger par type d'aliment. Les valeurs moyennes sont représentées par des cercles rouges

L'effet du type de nourriture est confirmé par les résultats de T-tests ou de tests de comparaison appariés de Wilcoxon (selon la violation ou non de la normalité de l'échantillon étudié) avec les corrections de BH présentées dans l'annexe A.19 (voir l'annexe A.20 pour les tests de normalité).

Ces valeurs de p montrent des différences significatives concernant les scores de désir de manger entre, par exemple, le gâteau tranché et l'éclair à la crème (scores plus faibles pour ce dernier, $p<0.001$), et le gâteau tranché et les sushis (scores plus élevés pour ce dernier, $p=0.0034$).

5.7.5 Désir de manger et habitudes alimentaires

Les scores de désir de manger peuvent également être influencés par les habitudes alimentaires des utilisateurs. La Fig. 5.16 présente la distribution des scores de désir de manger selon les scores d'habitudes alimentaires issus du questionnaire post-exposition.

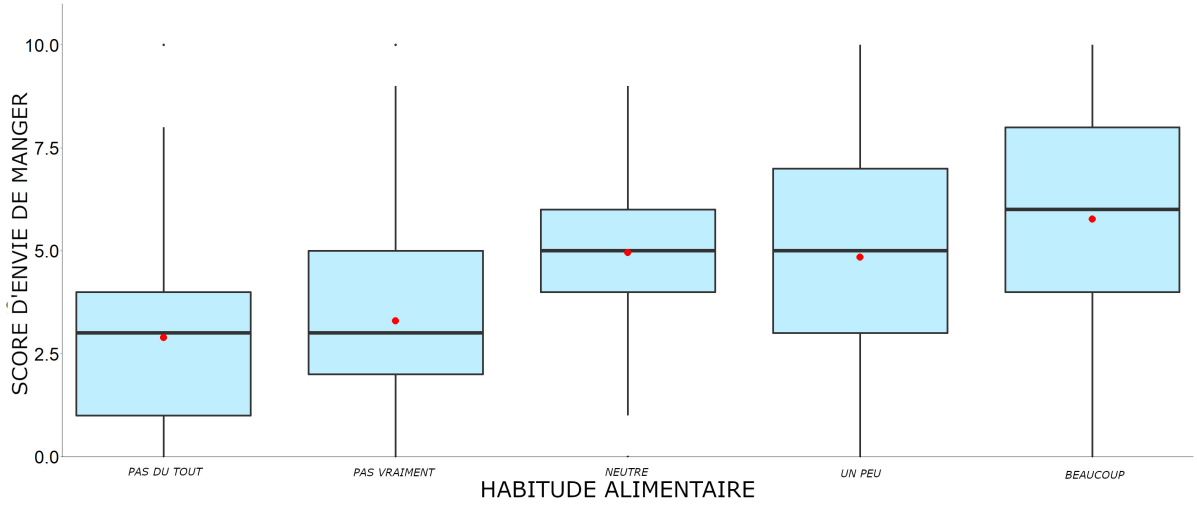


FIGURE 5.16 – Distribution des scores de désir de manger groupés par résultats du questionnaire sur les habitudes alimentaires. Les valeurs moyennes sont représentées par des cercles rouges

Étant donné que les échantillons sont de tailles différentes, nous avons réalisé un test de Kruskal-Wallis (χ^2 = 260, p <1,00e-16), qui révèle un effet significatif des habitudes alimentaires sur les scores de désir de manger. Ainsi, nous avons effectué des comparaisons *post-hoc* de Dwass-Steel-Crichtlow-Fligner (*DSCF*) entre les groupes. Le Tab. 5.6 montre les résultats de ces comparaisons. Les groupes "Pas du tout" et "Pas vraiment" conduisent à des scores de désir de manger significativement plus faibles que les autres niveaux (p<0.001). De même, les groupes "Neutre" et "Un peu" conduisent à des valeurs significativement plus faibles que le groupe "Extrêmement" (p<0.001).

De plus, la Fig. 5.17 illustre l'évolution des différences entre les scores de désir de manger rapportés par les participants pour le niveau 7 et le niveau 1. Les résultats du test de Kruskal-Wallis (χ^2 = 177, p <1,00e-16) et les comparaisons *post-hoc* de DSCF (présentées dans le Tab. 5.7) révèlent une augmentation significative de la différence à partir de la note "Neutre" (différence de moyenne des scores d'envie de manger entre l'appréciation "Neutre" et l'appréciation "Pas du tout" : 2.06, p <0.001 ; différence de moyenne des scores d'envie de manger entre l'appréciation "Neutre" et l'appréciation "Pas vraiment" : 1.66, p <0.001).

Comparaison scores habitudes alimentaires	Différence de moyenne	p-value
Pas vraiment/ Pas du tout	0,40	0,23
Neutre/ Pas du tout	2,06	<0,001
Un peu/ Pas du tout	1,96	<0,001
Beaucoup/ Pas du tout	2,87	<0,001
Neutre/ Pas vraiment	1,66	<0,001
Un peu/ Pas vraiment	1,56	<0,001
Beaucoup/ Pas vraiment	2,47	<0,001
Un peu/ Neutre	-0,11	1,00
Beaucoup/ Neutre	0,81	<0,001
Beaucoup/ Un peu	0,92	<0,001

TABLE 5.6 – Comparaison par paires de DSCF des scores de désir de manger entre les habitudes alimentaires. Les lignes en jaune correspondent à des comparaisons significatives (p-value<0,05)

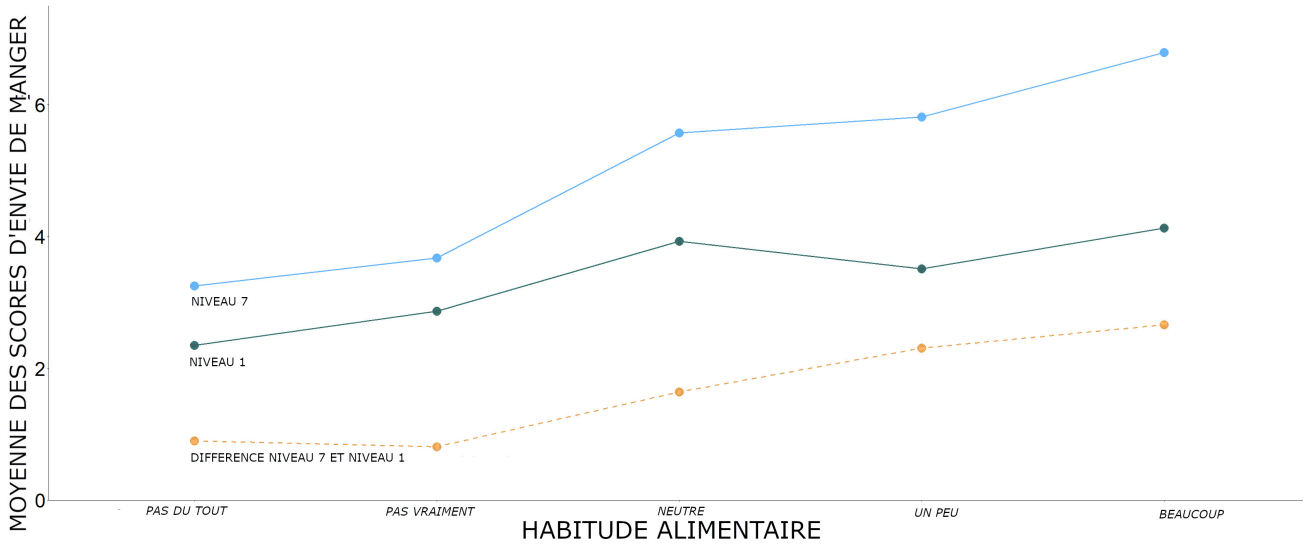


FIGURE 5.17 – Évolution de la moyenne du score de désir de manger en fonction des résultats du questionnaire sur les habitudes alimentaires pour le niveau 7, le niveau 1 et la différence entre le niveau 7 et le niveau 1

Comparaison notes habitudes alimentaires	Différence de moyenne	p-value
Pas vraiment / Pas du tout	-0,089	0,25
Neutre / Pas du tout	0,74	<0,001
Un peu / Pas du tout	1,41	<0,001
Beaucoup / Pas du tout	1,76	<0,001
Neutre / Pas vraiment	0,83	<0,001
Un peu / Pas vraiment	1,50	<0,001
Beaucoup / Pas vraiment	1,85	<0,001
Un peu / Neutre	0,67	0,64
Beaucoup / Neutre	1,02	0,015
Beaucoup / Un peu	0,35	0,30

TABLE 5.7 – Résultats des comparaison appariées DSCF de la différence des scores de désir de manger du niveau 7 par rapport aux scores de désir de manger du niveau 1, entre les habitudes alimentaires. Les lignes en jaune correspondent à des comparaisons significatives (p-value $< 0{,}05$)

5.8 Discussions

Tout d'abord, les résultats de notre expérience confirment notre hypothèse $\mathbf{Hy_1}$: le désir de manger augmente lorsque la qualité visuelle de la nourriture virtuelle augmente également. Plus précisément, on peut observer des différences très significatives ($p<0.001$) entre 3 groupes de niveau (le groupe "niveau 6-7", avec des scores plus hauts que le groupe "niveau 3-4-5", avec aux même des scores plus hauts que le groupe "1-2").

Cette observation suggère qu'un niveau de qualité de 3 semble refléter la qualité minimale requise pour déclencher un désir significatif de manger, avec les niveaux 4 et 5 déclenchant un désir similaire. Des résultats significativement meilleurs sont obtenus à partir du niveau 6 (aucune amélioration significative n'est apportée par le niveau 7). En termes de valeurs de pseudo-MOS, cela signifie qu'un pseudo-MOS de 3 (sur une échelle de 1 à 5) est une valeur minimale pour commencer à déclencher un désir significatif de manger pour les études sur la nourriture en réalité virtuelle ; le meilleur choix est un pseudo-MOS de 4,5, mais les contraintes techniques d'affichage sont aussi à prendre en compte. Étant donné que l'outil de calcul du pseudo-MOS est disponible en open-source [176], ce résultat est d'un grand intérêt pour optimiser les modèles alimentaires 3D dans les expériences de réalité virtuelle liées à l'alimentation (par exemple, pour la recherche sur les consommateurs, la thérapie des troubles alimentaires, etc.).

Nos résultats soutiennent également notre hypothèse $\mathbf{Hy_2}$: le désir de manger en réa-

lité virtuelle dépend du type de nourriture présenté à l'utilisateur. Les scores de désir de manger varient selon le type de nourriture, car nous avons trouvé des différences significatives de scores selon le type de nourriture présentée, en considérant tous les niveaux de qualité visuelle ensemble. Certains commentaires des participants peuvent aider à comprendre certaines de ces différences. Par exemple, dans les réponses à notre debriefing post-expérimentation, nous avons remarqué que les mots "pain" et "chocolat" étaient les plus prononcés (voir Fig. 5.18). Ils étaient utilisés en combinaison avec des mots concernant son apparence, en utilisant des expressions telles que "écrasé dans un sac", "brûlé" ou "trop orange". Par conséquent, cela tend à révéler que ce stimulus alimentaire a été perçu comme moins appétissant que prévu.



FIGURE 5.18 – Diagramme en nuage de mots des entretiens de retour d'expérience des participants

L'hypothèse $\mathbf{Hy_3}$ (le désir de manger en réalité virtuelle est influencé par les préférences alimentaires et les habitudes de l'utilisateur) a été vérifiée dans notre expérience puisque les habitudes alimentaires des participants (c'est-à-dire leur goût pour les modèles alimentaires de référence correspondants) ont influencé significativement leurs scores de désir de manger. Lorsqu'un stimulus alimentaire n'était pas très apprécié, il produisait un désir de manger moins élevé que les autres aliments. De même, l'aliment le plus préféré produisait le plus grand désir de manger, pour tous les niveaux de qualité visuelle.

Nous avons également réalisé une analyse supplémentaire des scores de désir de manger

en ce qui concerne les habitudes des participants et la qualité visuelle des stimuli. Nous avons constaté que la différence entre les niveaux extrêmes (1 et 7) variait significativement, avec de plus faibles différences lorsque le stimulus alimentaire n'était "pas du tout" ou "pas vraiment" apprécié, comparé aux aliments préférés qui, eux, suscitaient les plus grands contrastes en ce qui concerne le désir de manger (voir le fichier matériel supplémentaire Section 4).

Cependant, malgré nos résultats globaux sur les hypothèses $\mathbf{Hy_2}$ et $\mathbf{Hy_3}$, nous avons découvert des faits intéressants concernant certains stimuli spécifiques, à partir des entretiens de débriefing des participants. La Fig. 5.18 présente un nuage de mots contenant les termes les plus fréquemment cités par les participants. Les différences de couleur dans le nuage de mots représentent les fréquences des termes. Ce nuage de mots inclut également les résultats sur le "pain au chocolat" discutés précédemment. Cette constatation pourrait expliquer les scores de désir de manger faibles observés pour ce stimulus virtuel, malgré les valeurs élevées en termes d'habitudes alimentaires. Cet exemple peut illustrer un effet plus général : bien que la photogrammétrie produise des modèles de haute qualité, l'apparence des modèles alimentaires peut sembler irréaliste pour les participants. Cette observation suggère que, malgré la qualité élevée obtenue grâce à la photogrammétrie, il est encore nécessaire de développer des processus plus précis capables de capturer les propriétés physiques des objets, comme la manière dont ils reflètent la lumière. Ceci est particulièrement important dans le domaine des sciences de l'alimentation, où il est connu que le désir alimentaire perçu face à la visualisation d'un aliment peut également être influencé par le contraste colorimétrique [181].

5.9 Limites

Plusieurs limites subsistent dans notre étude. Tout d'abord, les modèles alimentaires 3D choisis ne représentent pas tous les types de régimes présents dans le monde, qui diffèrent selon les habitudes sociales, culturelles et religieuses. Deuxièmement, comme mentionné précédemment, le processus de photogrammétrie permet une reconstruction de haute qualité de la géométrie et de la couleur, mais n'intègre pas les propriétés physiques qui permettraient de reproduire les interactions lumineuses réelles telles que les réflexions ou l'absorption.

5.10 Conclusion

Cette étude a évalué l'influence de la qualité visuelle de visuels alimentaires sur le désir ressenti de manger en RV. Les résultats montrent que la qualité visuelle des stimuli alimentaires virtuels influence significativement le désir de manger ressenti en RV, où le désir diminue avec la qualité visuelle. De plus, nos résultats ouvrent la voie à l'optimisation des modèles alimentaires 3D, puisque nous avons montré des différences significatives entre certains niveaux, ainsi que l'absence de différence de désir de manger perçu entre d'autres niveaux, par exemple, entre deux niveaux de très haute qualité. Le désir de manger est également influencé par le type d'aliment et les habitudes alimentaires des participants. Ces résultats nous ont permis de formuler des recommandations utiles pour la conception d'expériences de réalité virtuelle impliquant des stimuli alimentaires.

Plusieurs perspectives futures peuvent être envisagées. Tout d'abord, la stimulation d'autres sens, en particulier l'odorat, devrait contribuer grandement à l'intensité des réponses suscitées (émotions, désir de manger). Flavin et coll. [89] ont montré que l'odeur peut renforcer le lien entre l'affection et la conation. A ce titre, Javerliat et coll. [127] ont proposé un dispositif olfactif reproductible en open source compatible avec les casques autonomes, qui permettrait une intégration facile de ce signal sensoriel dans de futures expériences. Deuxièmement, l'utilisation de modèles alimentaires de référence représentant une plus grande variété de régimes alimentaires et évalués par un panel plus diversifié pourrait permettre de confirmer nos résultats dans un cadre plus général. Enfin, comme indiqué ci-dessus, une perspective est d'obtenir une apparence d'objet plus réaliste capable de reproduire les interactions lumineuses et ainsi d'améliorer le réalisme alimentaire. Par exemple, les techniques récentes d'apprentissage profond permettent de reconstruire la géométrie précise et la fonction de distribution bidirectionnelle de la réflectance variant dans l'espace (Spatially-Varying Bidirectional Reflectance Distribution Function (*SVBRDF*)) à partir d'un ensemble d'images d'un objet 3D [22].

Conclusion et Perspectives

Sommaire . . . . . .

Conclusion

Perspectives

6.1 Conclusion

Après la présentation du contexte et des objectifs de cette étude, nous avons présenté un état de l'art sur l'identification et l'évolution des traitements des TCA, en se focalisant davantage sur les méthodes utilisant les technologies de RV depuis que ces dernières existent.

L'état de l'art précise les axes et les stratégies opérationnelles pour traiter les TCA, mettant en lumière l'utilisation de la RV comme une méthode distincte. Il met également en lumière certaines lacunes dans l'utilisation de ces technologies, tant du point de vue du contenu que de la mise en contexte des participants et de l'étude des facteurs psychométriques.

Les travaux de thèse présentés se focalisent d'abord sur l'élaboration d'un environnement destiné à l'induction du craving alimentaire. Un premier chapitre détaille la conception et le développement de l'environnement ReVBED. Les origines de la réflexion à l'origine de cet environnement sont discutées, mettant en lumière les choix de conception effectués. Le processus de développement de l'application est également expliqué. Le scénario d'exposition, élément à part entière de l'environnement, est également décrit. La modélisation de l'environnement est abordée, avec des détails spécifiques sur chaque pièce d'exposition, soulignant les caractéristiques et les éléments interactifs. Le second chapitre aborde l'étude expérimentale visant à valider la capacité de cet environnement à induire un craving alimentaire chez des personnes atteintes de TCA. Les scores de craving, évalués à travers l'environnement, augmentent progressivement pendant l'exposition, avec une tendance largement plus prononcée chez les patientes. Les scores d'anxiété augmentent également, mais stagnent à partir de la moitié de l'exposition. Une corrélation entre le craving et l'anxiété est confirmée, en particulier chez les patientes à chaque étape d'évaluation. L'analyse des caractéristiques psychométriques de la population révèle des corrélations mettant en évidence des facteurs liés à la régulation attentionnelle et émotionnelle. Malgré des scores déclarés d'évaluation des symptômes de nausées et de problèmes oculomoteurs chez les patients, leurs expériences subjectives de craving et d'anxiété restent cohérentes. Le troisième chapitre se concentre sur une étude visant à déterminer comment la qualité visuelle des stimuli alimentaires virtuels influence le désir de manger en réalité virtuelle (RV). Les résultats ont révélé une corrélation significative entre la qualité visuelle et le désir de manger. Cette corrélation peut être résumée avec 3 groupes de qualité visuelle produisant un désir de manger d'autant plus important que la qualité visuelle est accrue. L'étude permet aussi de démontrer aussi que le type d'aliment et les habitudes alimentaires des participants influent également sur le désir de manger induit.

Pour résumé, les contributions sont :

— La conception et le développement de l'environnement ReVBED, destiné à induire le craving alimentaire chez les personnes ayant un TCA de type BN ou hyperphagie boulimique ;
— Une étude expérimentale démontrant l'efficacité de ReVBED dans l'induction du craving alimentaire, avec des résultats pertinents sur les corrélations entre le craving, l'anxiété et les caractéristiques psychométriques des participants ;
— Une étude sur l'influence de la qualité visuelle de visuels 3D alimentaires virtuels sur le désir de manger en RV, soulignant l'importance de prendre en compte ce paramètre dans la conception d'expériences de RV impliquant des stimuli alimentaires.

6.2 Perspectives

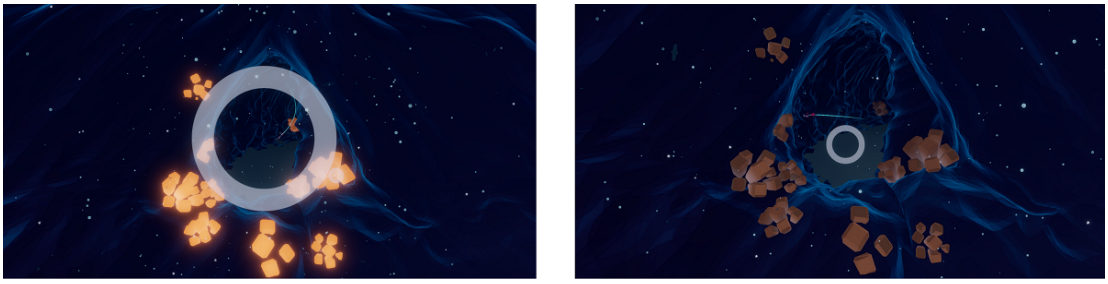
La validation de ReVBED en tant qu'environnement en RV capable d'induire un craving alimentaire, chez des personnes atteintes de TCA, n'est que le premier stade vers une démarche plus globale visant à développer un outil thérapeutique qui se base sur cet environnement. L'utilisation d'une interface en biofeedback, qui rendrait compte de l'état physiologique en temps réel de l'utilisateur, et qui permettrait d'amorcer un travail sur le rapport entre le contenu visualisé et le craving ressenti, apparaît comme judicieuse et a déjà fait l'objet de quelques études. En témoigne la revue de Lüddecke et Felnhofer de 2021 [151], qui justifie l'intérêt de ce méthodes notamment pour la réduction du stress ou de la douleur. Ces méthodes se consacrent principalement sur l'utilisation de la VFC [27, 204], de l'AED [204, 244] ou de l'exploration respiratoire [211, 31]. L'interface utilisée peu prendre diverses formes, mais elle est souvent rattachée à une jauge superposé à l'environnement en RV diffusé, qui peut bénéficier d'un niveau de gamification plus ou moins marqué (voir Fig. 6.1a et 6.1b).

Au-delà des aspects visuels et sonores, la mise à contribution d'autres sens apparaît comme la prochaine étape pour l'évaluation et la thérapie des TCA en RV. A commencer par l'odorat : la diffusion d'odeur est maintenant possible *via* l'utilisation d'outil portable et facilement reproductible, à l'instar des prototypes de Javerliat et coll. [127] ou de Lukasiewicz et coll. [152]. La sollicitation du goût est plus rare, mais des tentatives d'investigation, à travers des stimulations électriques basses fréquences [143], ou plus simplement *via* une modification de la luminosité ou de la colorimétrie de l'environnement dans lequel sont présentés les visuels [64]. Cependant, bien que ces interactions offrent des perspectives encourageantes, il est essentiel de mener des études pour évaluer l'impact spécifique de chacune d'elle, car leur complémentarité en RV n'est pas encore entièrement établie. Ces explorations ouvrent la voie à une redéfinition des expérimentations alimentaires, offrant

ainsi des opportunités innovantes pour repenser notre relation avec la nourriture et les comportements associés.



(a)



(b)

FIGURE 6.1 – (a) Environnement en RV [204] contenant une interface représentant les paramètres physiologiques (VFC et AED) de utilisateur pendant l'exercice de relaxation ; (b) Interface de biofeedback [31] sous forme de cercle correspondant à un pic d'inspiration (à gauche) et d'expiration (à droite)

Liste des publications

— Ramousse, F., Lavoué, G., Baert, P., Bhoowabul, V., Fleury, S., Ravey, B., Gay, A., Massoubre, C., Helfenstein-Didier, C. (2023). *ReVBED : A semi-guided virtual environment for inducing food craving in a binge-eating therapy process*. In Proceedings of the 2023 ACM International Conference on Interactive Media Experiences Workshops (IMXw '23) (pp. 12–14). Association for Computing Machinery (https://dl.acm.org/doi/abs/10.1145/3604321.3604369).
Lien HAL : https://hal.science/hal-04141461/document ;

— Ramousse F, Raimbaud P, Baert P, Helfenstein-Didier C, Gay A, Massoubre C, Galusca B and Lavoué G (2023) *Does this virtual food make me hungry ? effects of visual quality and food type in virtual reality*. Front. Virtual Real. 4 :1221651 (https://doi.org/10.3389/frvir.2023.1221651)
Lien HAL : https://hal.science/hal-04181405

— En cours de rédaction : Ramousse F, Gay A, Helfenstein-Didier C, Baert P, Fleury S, Bhoowabul V, Ravey B, Pollet B, Odin L, Boudaoud Y, Galusca B, Germain N, Lavoué G, Massoubre C. (2024). *ReVBED : Pre-therapeutic validation of a food craving induction program in virtual reality*. International Eating Disorders

Références bibliographiques

[1] W. Stewart Agras ; Scott J. Crow ; Katherine A. Halmi ; James E. Mitchell ; G. Terence Wilson ; Helena C. Kraemer. "Outcome Predictors for the Cognitive Behavior Treatment of Bulimia Nervosa: Data From a Multisite Study". In : *American Journal of Psychiatry* 157.8 [août 2000], p. 1302-1308. ISSN : 1535-7228. DOI : 10.1176/appi.ajp.157.8.1302. URL : http://dx.doi.org/10.1176/appi.ajp.157.8.1302.

[2] Jose Alba-Martinez ; Pedro Manuel Sousa ; Mariano Alcañiz ; Luis Miguel Cunha ; Javier Martinez-Monzó ; Purificación Garcia-Segovia. "Impact of context in visual evaluation of design pastry: Comparison of real and virtual". In : *Food Quality and Preference* 97 [avr. 2022], p. 104472. DOI : 10.1016/j.foodqual.2021.104472. URL : https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2021.104472.

[3] Dmitry Alexandrovsky ; Susanne Putze ; Michael Bonfert ; Sebastian Höffner ; Pitt Michelmann ; Dirk Wenig ; Rainer Malaka ; Jan David Smeddinck. "Examining Design Choices of Questionnaires in VR User Studies". In : *Proceedings of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. ACM, avr. 2020. DOI : 10.1145/3313831.3376260. URL : https://doi.org/10.1145/3313831.3376260.

[4] Jeanine Ammann ; Christina Hartmann ; Vega Peterhans ; Sandro Ropelato ; Michael Siegrist. "The relationship between disgust sensitivity and behaviour: A virtual reality study on food disgust". In : *Food Quality and Preference* 80 [mars 2020], p. 103833. ISSN : 0950-3293. DOI : 10.1016/j.foodqual.2019.103833. URL : http://dx.doi.org/10.1016/j.foodqual.2019.103833.

[5] M. Anderluh ; K. Tchanturia ; S. Rabe-Hesketh ; D. Collier ; J. Treasure. "Lifetime course of eating disorders: design and validity testing of a new strategy to define the eating disorders phenotype". In : *Psychological Medicine* 39.1 [avr. 2008], p. 105-114. ISSN : 1469-8978. DOI : 10.1017/s0033291708003292. URL : http://dx.doi.org/10.1017/S0033291708003292.

[6] Hippokratis Apostolidis ; Georgia Papantoniou ; Thrasyvoulos Tsiatsos. “Deployment and Dynamics of a Biofeedback System for Anxiety Awareness during Online Examination Activities”. In : *Applied Sciences* 11.2 [jan. 2021], p. 756. ISSN : 2076-3417. DOI : 10.3390/app11020756. URL : http://dx.doi.org/10.3390/app11020756.

[7] M. Archinard ; P. Rouget ; D. Painot ; C. Liengme. “Inventaire des troubles alimentaires 2”. In : *Protocoles et échelles d’évaluation en psychiatrie et en psychologie*. Sous la dir. de M. Bouvard ; J. Cottraux. 5e éd. Paris, France : Masson, 1994, p. 284-287.

[8] Bruce Arnow ; Justin Kenardy ; W. Stewart Agras. “The emotional eating scale: The development of a measure to assess coping with negative affect by eating”. In : *International Journal of Eating Disorders* 18.1 [juill. 1995], p. 79-90. ISSN : 1098-108X. DOI : 10.1002/1098-108x(199507)18:1<79::aid-eat2260180109>3.0.co;2-v. URL : http://dx.doi.org/10.1002/1098-108x(199507)18:1%3C79::aid-eat2260180109%3E3.0.co;2-v.

[9] Elaine H Asp. “Factors affecting food decisions made by individual consumers”. In : *Food policy* 24.2-3 [1999], p. 287-294.

[10] American Psychiatric Association. *Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders*. American Psychiatric Association, mai 2013. DOI : 10.1176/appi.books.9780890425596. URL : https://doi.org/10.1176/appi.books.9780890425596.

[11] Molly E. Atwood ; Aliza Friedman. “A systematic review of enhanced cognitive behavioral therapy (CBT-E) for eating disorders”. In : *International Journal of Eating Disorders* 53.3 [déc. 2019], p. 311-330. ISSN : 1098-108X. DOI : 10.1002/eat.23206. URL : http://dx.doi.org/10.1002/eat.23206.

[12] Marc Auriacombe ; Fuschia Serre ; Mélina Fatséas. “6. Le craving : marqueur diagnostique et pronostique des addictions ?” In : *Traité d’addictologie*. Sous la dir. de Michel Reynaud. Cachan : Lavoisier, 2016, p. 78-83. DOI : 10.3917/lav.reyna.2016.01.0078. URL : https://www.cairn.info/traite-d-addictologie--9782257206503-page-78.htm.

[13] Dominik R. Bach ; Guillaume Flandin ; Karl J. Friston ; Raymond J. Dolan. “Modelling event-related skin conductance responses”. In : *International Journal of Psychophysiology* 75.3 [mars 2010], p. 349-356. ISSN : 0167-8760. DOI : 10.1016/j.ijpsycho.2010.01.005. URL : http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2010.01.005.

[14] Dominik R. Bach ; Guillaume Flandin ; Karl J. Friston ; Raymond J. Dolan. "Time-series analysis for rapid event-related skin conductance responses". In : *Journal of Neuroscience Methods* 184.2 [nov. 2009], p. 224-234. ISSN : 0165-0270. DOI : 10.1016/j.jneumeth.2009.08.005. URL : http://dx.doi.org/10.1016/j.jneumeth.2009.08.005.

[15] Dominik R. Bach ; Karl J. Friston ; Raymond J. Dolan. "An improved algorithm for model-based analysis of evoked skin conductance responses". In : *Biological Psychology* 94.3 [déc. 2013], p. 490-497. ISSN : 0301-0511. DOI : 10.1016/j.biopsycho.2013.09.010. URL : http://dx.doi.org/10.1016/j.biopsycho.2013.09.010.

[16] Jean-Lionel Bagot ; Ingrid Theunissen ; Jean-Loup Mouysset ; Jean-Philippe Wagner ; Nicolas Magné ; Alain Toledano. "La santé intégrative : définition et exemples de mises en œuvre en oncologie en France". In : *La Revue d'Homéopathie* 12.4 [déc. 2021], p. 215-221. ISSN : 1878-9730. DOI : 10.1016/j.revhom.2021.10.015. URL : http://dx.doi.org/10.1016/j.revhom.2021.10.015.

[17] Borwin Bandelow ; Markus Reitt ; Christian Röver ; Sophie Michaelis ; Yvonne Görlich ; Dirk Wedekind. "Efficacy of treatments for anxiety disorders". In : *International Clinical Psychopharmacology* 30.4 [juill. 2015], p. 183-192. DOI : 10.1097/yic.0000000000000078. URL : https://doi.org/10.1097/yic.0000000000000078.

[18] Elizabeth Barba ; Emanuel Burri ; Anna Accarino ; Carolina Malagelada ; Amanda Rodriguez-Urrutia ; Alfredo Soldevilla ; Juan-R. Malagelada ; Fernando Azpiroz. "Biofeedback-Guided Control of Abdominothoracic Muscular Activity Reduces Regurgitation Episodes in Patients With Rumination". In : *Clinical Gastroenterology and Hepatology* 13.1 [jan. 2015], 100-106.e1. DOI : 10.1016/j.cgh.2014.04.018. URL : https://doi.org/10.1016/j.cgh.2014.04.018.

[19] Aaron T. Beck. *Cognitive Therapy of Depression*. Guilford Press, 1979.

[20] Yoav Benjamini ; Yosef Hochberg. "Controlling the False Discovery Rate: A Practical and Powerful Approach to Multiple Testing". In : *Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Methodological)* 57.1 [jan. 1995], p. 289-300. DOI : 10.1111/j.2517-6161.1995.tb02031.x. URL : https://doi.org/10.1111/j.2517-6161.1995.tb02031.x.

[21] B Bhavadharini ; V Monica ; R Anbarasan ; R Mahendran. "Virtual, augmented, and mixed reality as a versatile tool in food consumer behavior evaluation: Recent advances in aroma, taste, and texture incorporation". In : *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 22.6 [oct. 2023], p. 4925-4956. ISSN : 1541-4337. DOI : 10.1111/1541-4337.13248. URL : http://dx.doi.org/10.1111/1541-4337.13248.

[22] Sai Bi ; Zexiang Xu ; Kalyan Sunkavalli ; David Kriegman ; Ravi Ramamoorthi. "Deep 3D Capture: Geometry and Reflectance From Sparse Multi-View Images". In : *2020 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*. IEEE, juin 2020. DOI : 10.1109/cvpr42600.2020.00600. URL : https://doi.org/10.1109/cvpr42600.2020.00600.

[23] George E. Billman. "Heart Rate Variability? A Historical Perspective". In : *Frontiers in Physiology* 2 [2011]. ISSN : 1664-042X. DOI : 10.3389/fphys.2011.00086. URL : http://dx.doi.org/10.3389/fphys.2011.00086.

[24] George E. Billman. "The LF/HF ratio does not accurately measure cardiac sympathovagal balance". In : *Frontiers in Physiology* 4 [2013]. ISSN : 1664-042X. DOI : 10.3389/fphys.2013.00026. URL : http://dx.doi.org/10.3389/fphys.2013.00026.

[25] Jens Blechert ; Anja Lender ; Sarah Polk ; Niko A. Busch ; Kathrin Ohla. "Food-Pics Extended—An Image Database for Experimental Research on Eating and Appetite: Additional Images, Normative Ratings and an Updated Review". In : *Frontiers in Psychology* 10 [mars 2019]. ISSN : 1664-1078. DOI : 10.3389/fpsyg.2019.00307. URL : http://dx.doi.org/10.3389/fpsyg.2019.00307.

[26] Paulo Blikstein ; July Silveira Gomes ; Henrique Teruo Akiba ; Bertrand Schneider. "The Effect of Highly Scaffolded Versus General Instruction on Students' Exploratory Behavior and Arousal". In : *Technology, Knowledge and Learning* 22.1 [sept. 2016], p. 105-128. ISSN : 2211-1670. DOI : 10.1007/s10758-016-9291-y. URL : http://dx.doi.org/10.1007/s10758-016-9291-y.

[27] Johannes Blum ; Christoph Rockstroh ; Anja S. Göritz. "Heart Rate Variability Biofeedback Based on Slow-Paced Breathing With Immersive Virtual Reality Nature Scenery". In : *Frontiers in Psychology* 10 [sept. 2019]. ISSN : 1664-1078. DOI : 10.3389/fpsyg.2019.02172. URL : http://dx.doi.org/10.3389/fpsyg.2019.02172.

[28] Rothbaum BO ; Hodges LF ; Kooper R ; Opdyke D ; Williford JS ; North M. "Effectiveness of computer-generated (virtual reality) graded exposure in the treatment of acrophobia". In : *American Journal of Psychiatry* 152.4 [avr. 1995], p. 626-628. DOI : 10.1176/ajp.152.4.626. URL : https://doi.org/10.1176/ajp.152.4.626.

[29] Patricia Bockelman ; Deanna Lingum. "Factors of Cybersickness". In : *Communications in Computer and Information Science*. Springer International Publishing, 2017, p. 3-8. DOI : 10.1007/978-3-319-58753-0_1. URL : https://doi.org/10.1007/978-3-319-58753-0_1.

[30] *Bose Professional Website*. URL : https://pro.bose.com/en_us/index.html [visité le 12/02/2024].

[31] Rineke BOSSENBROEK ; Aniek WOLS ; Joanneke WEERDMEESTER ; Anna LICHTWARCK-ASCHOFF ; Isabela GRANIC ; Marieke M J W van ROOIJ. "Efficacy of a Virtual Reality Biofeedback Game (DEEP) to Reduce Anxiety and Disruptive Classroom Behavior: Single-Case Study". In : *JMIR Mental Health* 7.3 [mars 2020], e16066. ISSN : 2368-7959. DOI : 10.2196/16066. URL : http://dx.doi.org/10.2196/16066.

[32] Rebecca G. BOSWELL ; Hedy KOBER. "Food cue reactivity and craving predict eating and weight gain: a meta-analytic review". In : *Obesity Reviews* 17.2 [déc. 2015], p. 159-177. DOI : 10.1111/obr.12354. URL : https://doi.org/10.1111/obr.12354.

[33] Matthew BOTVINICK ; Jonathan COHEN. "Rubber hands 'feel' touch that eyes see". In : *Nature* 391.6669 [fév. 1998], p. 756-756. DOI : 10.1038/35784. URL : https://doi.org/10.1038/35784.

[34] Stéphane BOUCHARD ; J ST-JACQUES ; Patrice RENAUD ; Brenda WIEDERHOLD. "Side effects of immersions in virtual reality for people suffering from anxiety disorders". In : *Journal of CyberTherapy Rehabilitation* 2 [jan. 2009], p. 127-137.

[35] Stéphane BOUCHARD ; Geneviève ROBILLARD ; Patrice RENAUD. "Revising the factor structure of the simulator sickness questionnaire". In : *Annual Review of CyberTherapy and Telemedicine* 5 [jan. 2007], p. 128-137.

[36] Stéphane BOUCHARD ; Geneviève ROBILLARD ; Patrice RENAUD ; F. BERNIER. "Exploring new dimensions in the assessment of virtual reality induced side effects". In : *Journal of Computer and Information Technology* 1 [jan. 2011], p. 20-32.

[37] MP BOUVARD ; MC MOUREN-SIMEONI ; MF LE HEUZEY ; M DUGAS. "Eating disorders in a student population. Epidemiologic data". In : *L'Encephale* 15.2 Spec No [1989], p. 219-226. ISSN : 0013-7006. URL : http://europepmc.org/abstract/MED/2667950.

[38] Timo BROCKMEYER ; Carolyn HAHN ; Christina REETZ ; Ulrike SCHMIDT ; Hans-Christoph FRIEDERICH. "Approach Bias Modification in Food Craving—A Proof-of-Concept Study". In : *European Eating Disorders Review* 23.5 [juill. 2015], p. 352-360. DOI : 10.1002/erv.2382. URL : https://doi.org/10.1002/erv.2382.

[39] Christopher BROWNELL Kelly Fairburn. *Eating Disorders and Obesity: A Comprehensive Handbook*. Nutrition Bulletin. 27, 2002.

[40] Kelly D. Brownell ; John Paul Foreyt. *Handbook of eating disorders : physiology, psychology, and treatment of obesity, anorexia, and bulimia*. Basic Books, 1986. URL : https://cir.nii.ac.jp/crid/1130282271672941952.

[41] I.R. van Bruinessen ; I.T.A. van den Ende ; L.N.C. Visser ; S. van Dulmen. "The impact of watching educational video clips on analogue patients' physiological arousal and information recall". In : *Patient Education and Counseling* 99.2 [fév. 2016], p. 243-249. ISSN : 0738-3991. DOI : 10.1016/j.pec.2015.08.022. URL : http://dx.doi.org/10.1016/j.pec.2015.08.022.

[42] Paul Brunault ; Nicolas Ballon ; Philippe Gaillard ; Christian Réveillère ; Robert Courtois. "Validation of the French Version of the Yale Food Addiction Scale: An Examination of its Factor Structure, Reliability, and Construct Validity in a Nonclinical Sample". In : *The Canadian Journal of Psychiatry* 59.5 [mai 2014], p. 276-284. ISSN : 1497-0015. DOI : 10.1177/070674371405900507. URL : http://dx.doi.org/10.1177/070674371405900507.

[43] Paul Brunault ; Sarah El Archi ; Nicolas Ballon ; Christian Réveillère ; Servane Barrault. "Validation de la version française du Food Cravings Questionnaire-Trait-reduced : un auto-questionnaire simple et de passation rapide pour mesurer le craving alimentaire". In : *Annales Médico-psychologiques, revue psychiatrique* 176.8 [oct. 2018], p. 788-795. ISSN : 0003-4487. DOI : 10.1016/j.amp.2018.08.002. URL : http://dx.doi.org/10.1016/j.amp.2018.08.002.

[44] Robert L. Burr. "Interpretation of Normalized Spectral Heart Rate Variability Indices In Sleep Research: A Critical Review". In : *Sleep* 30.7 [juill. 2007], p. 913-919. ISSN : 1550-9109. DOI : 10.1093/sleep/30.7.913. URL : http://dx.doi.org/10.1093/sleep/30.7.913.

[45] S Butterworth. "On the Theory of Filter Amplifiers". In : *Experimental Wireless and the Wireless Engineer* 7 [1930].

[46] Susan M. Byrne ; Anthea Fursland ; Karina L. Allen ; Hunna Watson. "The effectiveness of enhanced cognitive behavioural therapy for eating disorders: An open trial". In : *Behaviour Research and Therapy* 49.4 [avr. 2011], p. 219-226. ISSN : 0005-7967. DOI : 10.1016/j.brat.2011.01.006. URL : http://dx.doi.org/10.1016/j.brat.2011.01.006.

[47] Simona Calugi ; Marwan El Ghoch ; Riccardo Dalle Grave. "Intensive enhanced cognitive behavioural therapy for severe and enduring anorexia nervosa: A longitudinal outcome study". In : *Behaviour Research and Therapy* 89 [fév. 2017], p. 41-48. ISSN : 0005-7967. DOI : 10.1016/j.brat.2016.11.006. URL : http://dx.doi.org/10.1016/j.brat.2016.11.006.

[48] Annemaree CARROLL ; Robyn M. GILLIES ; Ross CUNNINGTON ; Molly MCCARTHY ; Chase SHERWELL ; Kelsey PALGHAT ; Felicia GOH ; Bernard BAFFOUR ; Amanda BOURGEOIS ; Mary RAFTER ; Tennille SEARY. "Changes in science attitudes, beliefs, knowledge and physiological arousal after implementation of a multimodal, cooperative intervention in primary school science classes". In : *Information and Learning Sciences* 120.7/8 [juill. 2019], p. 409-425. ISSN : 2398-5348. DOI : 10.1108/ils-08-2018-0089. URL : http://dx.doi.org/10.1108/ILS-08-2018-0089.

[49] Marcele de CARVALHO ; Thiago DIAS ; Monica DUCHESNE ; Antonio NARDI ; Jose APPOLINARIO. "Virtual Reality as a Promising Strategy in the Assessment and Treatment of Bulimia Nervosa and Binge Eating Disorder: A Systematic Review". In : *Behavioral Sciences* 7.4 [juill. 2017], p. 43. ISSN : 2076-328X. DOI : 10.3390/bs7030043. URL : http://dx.doi.org/10.3390/bs7030043.

[50] Gian Luca CESA ; Gian Mauro MANZONI ; Monica BACCHETTA ; Gianluca CASTELNUOVO ; Sara CONTI ; Andrea GAGGIOLI ; Fabrizia MANTOVANI ; Enrico MOLINARI ; Georgina CÁRDENAS-LÓPEZ ; Giuseppe RIVA. "Virtual Reality for Enhancing the Cognitive Behavioral Treatment of Obesity With Binge Eating Disorder: Randomized Controlled Study With One-Year Follow-up". In : *Journal of Medical Internet Research* 15.6 [juin 2013], e113. ISSN : 1438-8871. DOI : 10.2196/jmir.2441. URL : http://dx.doi.org/10.2196/jmir.2441.

[51] Fairburn CG ; Beglin SJ. "Studies of the epidemiology of bulimia nervosa". In : *American Journal of Psychiatry* 147.4 [avr. 1990], p. 401-408. ISSN : 1535-7228. DOI : 10.1176/ajp.147.4.401. URL : http://dx.doi.org/10.1176/ajp.147.4.401.

[52] Jung-Chi CHANG ; Wei-Lieh HUANG ; Chao-Yu LIU ; Meg Mei-Chih TSENG ; Cheryl C. H. YANG ; Terry B. J. KUO. "Heart Rate Variability Reactivity to Food Image Stimuli is Associated with Body Mass Index". In : *Applied Psychophysiology and Biofeedback* 46.3 [mai 2021], p. 271-277. ISSN : 1573-3270. DOI : 10.1007/s10484-021-09514-2. URL : http://dx.doi.org/10.1007/s10484-021-09514-2.

[53] Charissa S.L. CHEAH ; Salih BARMAN ; Kathy T.T. VU ; Sarah E. JUNG ; Varun MANDALAPU ; Travis D. MASTERSON ; Ryan J. ZUBER ; Lee BOOT ; Jiaqi GONG. "Validation of a Virtual Reality Buffet environment to assess food selection processes among emerging adults". In : *Appetite* 153 [oct. 2020], p. 104741. DOI : 10.1016/j.appet.2020.104741. URL : https://doi.org/10.1016/j.appet.2020.104741.

[54] Lili CHEN ; Xi ZHANG ; Hui WANG. "An Obstructive Sleep Apnea Detection Approach Using Kernel Density Classification Based on Single-Lead Electrocardiogram". In : *Journal of Medical Systems* 39.5 [mars 2015]. ISSN : 1573-689X. DOI :

10.1007/s10916-015-0222-6. URL : http://dx.doi.org/10.1007/s10916-015-0222-6.

[55] Yang CHEN ; Arya Xinran HUANG ; Ilona FABER ; Guido MAKRANSKY ; Federico J. A. PEREZ-CUETO. "Assessing the Influence of Visual-Taste Congruency on Perceived Sweetness and Product Liking in Immersive VR". In : *Foods* 9.4 [avr. 2020], p. 465. DOI : 10.3390/foods9040465. URL : https://doi.org/10.3390/foods9040465.

[56] Heni CHERNI ; Natacha MÉTAYER ; Nicolas SOULIMAN. "Literature review of locomotion techniques in virtual reality". In : *International Journal of Virtual Reality* 20.1 [mars 2020], p. 1-20. ISSN : 1081-1451. DOI : 10.20870/ijvr.2020.20.1.3183. URL : http://dx.doi.org/10.20870/IJVR.2020.20.1.3183.

[57] Michael N. CHEUNG. "Detection of and Recovery from Errors in Cardiac Interbeat Intervals". In : *Psychophysiology* 18.3 [mai 1981], p. 341-346. ISSN : 1469-8986. DOI : 10.1111/j.1469-8986.1981.tb03045.x. URL : http://dx.doi.org/10.1111/j.1469-8986.1981.tb03045.x.

[58] Julia CIĄŻYŃSKA ; Janusz MACIASZEK. "Various Types of Virtual Reality-Based Therapy for Eating Disorders: A Systematic Review". In : *Journal of Clinical Medicine* 11.17 [août 2022], p. 4956. DOI : 10.3390/jcm11174956. URL : https://doi.org/10.3390/jcm11174956.

[59] Paolo CIGNONI ; Massimiliano CORSINI ; Guido RANZUGLIA. "MeshLab: an Open-Source 3D Mesh Processing System." In : *ERCIM News* 2008.73 [2008]. URL : http://dblp.uni-trier.de/db/journals/ercim/ercim2008.html#CignoniCR08.

[60] Damien CLUS ; Mark Erik LARSEN ; Christophe LEMEY ; Sofian BERROUIGUET. "The Use of Virtual Reality in Patients with Eating Disorders: Systematic Review". In : *Journal of Medical Internet Research* 20.4 [avr. 2018], e157. DOI : 10.2196/jmir.7898. URL : https://doi.org/10.2196/jmir.7898.

[61] Blender Online COMMUNITY. *Blender - a 3D modelling and rendering package*. Blender Foundation. Stichting Blender Foundation, Amsterdam, 2024. URL : http://www.blender.org.

[62] Nathan O. CONNER ; Hannah R. FREEMAN ; J. Adam JONES ; Tony LUCZAK ; Daniel CARRUTH ; Adam C. KNIGHT ; Harish CHANDER. "Virtual Reality Induced Symptoms and Effects: Concerns, Causes, Assessment & Mitigation". In : *Virtual Worlds* 1.2 [nov. 2022], p. 130-146. DOI : 10.3390/virtualworlds1020008. URL : https://doi.org/10.3390/virtualworlds1020008.

[63] Zafra COOPER ; Christopher G. FAIRBURN. "The Evolution of "Enhanced" Cognitive Behavior Therapy for Eating Disorders: Learning From Treatment Nonresponse". In : *Cognitive and Behavioral Practice* 18.3 [août 2011], p. 394-402. ISSN : 1077-7229. DOI : 10.1016/j.cbpra.2010.07.007. URL : http://dx.doi.org/10.1016/j.cbpra.2010.07.007.

[64] Patricia CORNELIO ; Christopher DAWES ; Emanuela MAGGIONI ; Francisco BERNARDO ; Matti SCHWALK ; Michaela MAI ; Steve PAWLIZAK ; Jingxin ZHANG ; Gabriele NELLES ; Nadejda KRASTEVA ; Marianna OBRIST. "Virtually tasty: An investigation of the effect of ambient lighting and 3D-shaped taste stimuli on taste perception in virtual reality". In : *International Journal of Gastronomy and Food Science* 30 [déc. 2022], p. 100626. ISSN : 1878-450X. DOI : 10.1016/j.ijgfs.2022.100626. URL : http://dx.doi.org/10.1016/j.ijgfs.2022.100626.

[65] Guylaine CÔTÉ ; Patrick GOSSELIN ; Isabel DAGENAIS. "Évaluation multidimensionnelle de la régulation des émotions : propriétés psychométriques d'une version francophone du Difficulties in Emotion Regulation Scale". In : *Journal de Thérapie Comportementale et Cognitive* 23.2 [juin 2013], p. 63-72. ISSN : 1155-1704. DOI : 10.1016/j.jtcc.2013.01.005. URL : http://dx.doi.org/10.1016/j.jtcc.2013.01.005.

[66] Ben COWLEY ; Martino FANTATO ; Charlene JENNETT ; Martin RUSKOV ; Niklas RAVAJA. "Learning When Serious: Psychophysiological Evaluation of a Technology-Enhanced Learning Game". In : *Journal of Educational Technology Society* 17.1 [2014], p. 3-16. ISSN : 11763647, 14364522. URL : http://www.jstor.org/stable/jeductechsoci.17.1.3 [visité le 28/03/2024].

[67] Catherine CRONE ; Laura J. FOCHTMANN ; Evelyn ATTIA ; Robert BOLAND ; Javier ESCOBAR ; Victor FORNARI ; Neville GOLDEN ; Angela GUARDA ; Maga JACKSON-TRICHE ; Laurie MANZO ; Margherita MASCOLO ; Karen PIERCE ; Megan RIDDLE ; Andreea SERITAN ; Blair UNIACKE ; Nancy ZUCKER ; Joel YAGER ; Thomas J. CRAIG ; Seung-Hee HONG ; Jennifer MEDICUS. "The American Psychiatric Association Practice Guideline for the Treatment of Patients With Eating Disorders". In : *American Journal of Psychiatry* 180.2 [fév. 2023], p. 167-171. ISSN : 1535-7228. DOI : 10.1176/appi.ajp.23180001. URL : http://dx.doi.org/10.1176/appi.ajp.23180001.

[68] Sophie C. DAHLENBURG ; David H. GLEAVES ; Amanda D. HUTCHINSON. "Treatment outcome research of enhanced cognitive behaviour therapy for eating disorders: a systematic review with narrative and meta-analytic synthesis". In : *Eating Disorders* 27.5 [jan. 2019], p. 482-502. ISSN : 1532-530X. DOI : 10.1080/10640266.2018.1560240. URL : http://dx.doi.org/10.1080/10640266.2018.1560240.

[69] Riccardo Dalle Grave. "Enhanced Cognitive Behavior Therapy for Eating Disorders". In : *Eating Disorders*. Springer International Publishing, 2022, p. 1-21. ISBN : 9783030679293. DOI : 10.1007/978-3-030-67929-3_1-1. URL : http://dx.doi.org/10.1007/978-3-030-67929-3_1-1.

[70] Riccardo Dalle Grave ; Simona Calugi ; Helen A. Doll ; Christopher G. Fairburn. "Enhanced cognitive behaviour therapy for adolescents with anorexia nervosa: An alternative to family therapy?" In : *Behaviour Research and Therapy* 51.1 [jan. 2013], R9-R12. ISSN : 0005-7967. DOI : 10.1016/j.brat.2012.09.008. URL : http://dx.doi.org/10.1016/j.brat.2012.09.008.

[71] Caroline Davis. "The epidemiology and genetics of binge eating disorder (BED)". In : *CNS Spectrums* 20.6 [août 2015], p. 522-529. ISSN : 2165-6509. DOI : 10.1017/s1092852915000462. URL : http://dx.doi.org/10.1017/S1092852915000462.

[72] Michael E. Dawson ; Anne M. Schell ; Diane L. Filion. "The Electrodermal System". In : *Handbook of Psychophysiology*. Cambridge University Press, 2016, p. 217-243. DOI : 10.1017/9781107415782.010. URL : http://dx.doi.org/10.1017/9781107415782.010.

[73] Daniela Degortes ; Paolo Santonastaso ; Tatiana Zanetti ; Elena Tenconi ; Angela Veronese ; Angela Favaro. "Stressful Life Events and Binge Eating Disorder". In : *European Eating Disorders Review* 22.5 [juill. 2014], p. 378-382. ISSN : 1099-0968. DOI : 10.1002/erv.2308. URL : http://dx.doi.org/10.1002/erv.2308.

[74] J. Delarue ; I. Boutrolle. "The effects of context on liking: implications for hedonic measurements in new product development". In : *Consumer-Driven Innovation in Food and Personal Care Products*. Elsevier, 2010, p. 175-218. DOI : 10.1533/9781845699970.2.175. URL : https://doi.org/10.1533/9781845699970.2.175.

[75] S.D. Dicker-Oren ; M. Gelkopf ; T. Greene. "The dynamic network associations of food craving, restrained eating, hunger and negative emotions". In : *Appetite* 175 [août 2022], p. 106019. ISSN : 0195-6663. DOI : 10.1016/j.appet.2022.106019. URL : http://dx.doi.org/10.1016/j.appet.2022.106019.

[76] Jennifer DiMauro ; Janine Domingues ; Geraldine Fernandez ; David F. Tolin. "Long-term effectiveness of CBT for anxiety disorders in an adult outpatient clinic sample: A follow-up study". In : *Behaviour Research and Therapy* 51.2 [fév. 2013], p. 82-86. ISSN : 0005-7967. DOI : 10.1016/j.brat.2012.10.003. URL : http://dx.doi.org/10.1016/j.brat.2012.10.003.

[77] Olivier Droulers ; Mathieu Lajante ; Sophie Badie. “Apport de la démarche neuroscientifique à la mesure des émotions : importation d’une nouvelle méthode de mesure de l’activité électrodermale”. In : *Décisions Marketing* N° 72.4 [déc. 2013], p. 87-101. ISSN : 0779-7389. DOI : 10.7193/dm.072.87.101. URL : http://dx.doi.org/10.7193/dm.072.87.101.

[78] N. Egger ; B. Wild ; S. Zipfel ; F. Junne ; A. Konnopka ; U. Schmidt ; M. de Zwaan ; S. Herpertz ; A. Zeeck ; B. Löwe ; J. von Wietersheim ; S. Tagay ; M. Burgmer ; A. Dinkel ; W. Herzog ; H.-H. König. “Cost-effectiveness of focal psychodynamic therapy and enhanced cognitive–behavioural therapy in out-patients with anorexia nervosa”. In : *Psychological Medicine* 46.16 [sept. 2016], p. 3291-3301. ISSN : 1469-8978. DOI : 10.1017/s0033291716002002. URL : http://dx.doi.org/10.1017/S0033291716002002.

[79] C. G. Fairburn ; J. Kirk ; M. O’Connor ; P. Anastasiades ; P. J. Cooper. “Prognostic factors in bulimia nervosa”. In : *British Journal of Clinical Psychology* 26.3 [sept. 1987], p. 223-224. ISSN : 2044-8260. DOI : 10.1111/j.2044-8260.1987.tb01349.x. URL : http://dx.doi.org/10.1111/j.2044-8260.1987.tb01349.x.

[80] C.G. Fairburn ; M.D. Marcus ; G.T. Wilson. *Cognitive-behavioral therapy for binge eating and bulimia nervosa: A comprehensive treatment manual*. Guilford Press, 1993, p. 361-404.

[81] Christopher Fairburn. “A cognitive behavioural approach to the treatment of bulimia”. In : *Psychological Medicine* 11.4 [nov. 1981], p. 707-711. DOI : 10.1017/s0033291700041209. URL : https://doi.org/10.1017/s0033291700041209.

[82] Christopher G. Fairburn ; Suzanne Bailey-Straebler ; Shawnee Basden ; Helen A. Doll ; Rebecca Jones ; Rebecca Murphy ; Marianne E. O’Connor ; Zafra Cooper. “A transdiagnostic comparison of enhanced cognitive behaviour therapy (CBT-E) and interpersonal psychotherapy in the treatment of eating disorders”. In : *Behaviour Research and Therapy* 70 [juill. 2015], p. 64-71. ISSN : 0005-7967. DOI : 10.1016/j.brat.2015.04.010. URL : http://dx.doi.org/10.1016/j.brat.2015.04.010.

[83] Christopher G. Fairburn ; Zafra Cooper ; Helen A. Doll ; Marianne E. O’Connor ; Kristin Bohn ; Deborah M. Hawker ; Jackie A. Wales ; Robert L. Palmer. “Transdiagnostic Cognitive-Behavioral Therapy for Patients With Eating Disorders: A Two-Site Trial With 60-Week Follow-Up”. In : *American Journal of Psychiatry* 166.3 [mars 2009], p. 311-319. ISSN : 1535-7228. DOI : 10.1176/appi.ajp.2008.08040608. URL : http://dx.doi.org/10.1176/appi.ajp.2008.08040608.

[84] Christopher G. Fairburn ; Zafra Cooper ; Helen A. Doll ; Marianne E. O'Connor ; Robert L. Palmer ; Riccardo Dalle Grave. "Enhanced cognitive behaviour therapy for adults with anorexia nervosa: A UK–Italy study". In : *Behaviour Research and Therapy* 51.1 [jan. 2013], R2-R8. ISSN : 0005-7967. DOI : 10.1016/j.brat.2012.09.010. URL : http://dx.doi.org/10.1016/j.brat.2012.09.010.

[85] M. Fatseas. "L'apport du craving dans l'évaluation de l'addiction alimentaire. Etude dans une population de sujets souffrant d'obésité". In : *French Journal of Psychiatry* 1 [nov. 2018], S57. ISSN : 2590-2415. DOI : 10.1016/s2590-2415(19)30138-2. URL : http://dx.doi.org/10.1016/S2590-2415(19)30138-2.

[86] Marta Ferrer-Garcia ; José Gutiérrez-Maldonado ; Giuseppe Riva. "Virtual Reality Based Treatments in Eating Disorders and Obesity: A Review". In : *Journal of Contemporary Psychotherapy* 43.4 [juin 2013], p. 207-221. DOI : 10.1007/s10879-013-9240-1. URL : https://doi.org/10.1007/s10879-013-9240-1.

[87] Marta Ferrer-Garcia ; Joana Pla-Sanjuanelo ; Antonios Dakanalis ; Ferran Vilalta-Abella ; Giuseppe Riva ; Fernando Fernandez-Aranda ; Laura Forcano ; Nadine Riesco ; Isabel Sánchez ; Massimo Clerici ; Joan Ribas-Sabaté ; Alexis Andreu-Gracia ; Neli Escandón-Nagel ; Osane Gomez-Tricio ; Virginia Tena ; José Gutiérrez-Maldonado. "A Randomized Trial of Virtual Reality-Based Cue Exposure Second-Level Therapy and Cognitive Behavior Second-Level Therapy for Bulimia Nervosa and Binge-Eating Disorder: Outcome at Six-Month Followup". In : *Cyberpsychology, Behavior, and Social Networking* 22.1 [jan. 2019], p. 60-68. DOI : 10.1089/cyber.2017.0675. URL : https://doi.org/10.1089/cyber.2017.0675.

[88] Marta Ferrer-Garcia ; José Gutiérrez-Maldonado ; Joana Pla-Sanjuanelo ; Ferran Vilalta-Abella ; Giuseppe Riva ; Massimo Clerici ; Joan Ribas-Sabaté ; Alexis Andreu-Gracia ; Fernando Fernandez-Aranda ; Laura Forcano ; Nadine Riesco ; Isabel Sánchez ; Neli Escandón-Nagel ; Osane Gomez-Tricio ; Virginia Tena ; Antonios Dakanalis. "A Randomised Controlled Comparison of Second-Level Treatment Approaches for Treatment-Resistant Adults with Bulimia Nervosa and Binge Eating Disorder: Assessing the Benefits of Virtual Reality Cue Exposure Therapy". In : *European Eating Disorders Review* 25.6 [août 2017], p. 479-490. DOI : 10.1002/erv.2538. URL : https://doi.org/10.1002/erv.2538.

[89] Carlos Flavián ; Sergio Ibáñez-Sánchez ; Carlos Orús. "The influence of scent on virtual reality experiences: The role of aroma-content congruence". In : *Journal of Business Research* 123 [fév. 2021], p. 289-301. DOI : 10.1016/j.jbusres.2020.09.036. URL : https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2020.09.036.

[90] Fernando Espi Forcen. "Anorexia Mirabilis: The Practice of Fasting by Saint Catherine of Siena in the Late Middle Ages". In : *American Journal of Psychiatry* 170.4 [avr. 2013], p. 370-371. doi : 10.1176/appi.ajp.2012.12111457. url : https://doi.org/10.1176/appi.ajp.2012.12111457.

[91] Francesco Foroni ; Giulio Pergola ; Georgette Argiris ; Raffaella I. Rumiati. "The FoodCast research image database (FRIDa)". In : *Frontiers in Human Neuroscience* 7 [2013]. issn : 1662-5161. doi : 10.3389/fnhum.2013.00051. url : http://dx.doi.org/10.3389/fnhum.2013.00051.

[92] Raphaela J. Gaertner ; Katharina E. Kossmann ; Annika B.E. Benz ; Ulrike U. Bentele ; Maria Meier ; Bernadette F. Denk ; Elea S.C. Klink ; Stephanie J. Dimitroff ; Jens C. Pruessner. "Relaxing effects of virtual environments on the autonomic nervous system indicated by heart rate variability: A systematic review". In : *Journal of Environmental Psychology* 88 [juin 2023], p. 102035. doi : 10.1016/j.jenvp.2023.102035. url : https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2023.102035.

[93] C. Galien. *Oeuvres anatomiques, physiologiques et médicales de Galien, traduites sur les textes imprimés et manuscrits, accompagnés de sommaires, de notes, de planches et d'une table des matières, précédées d'une introduction ou Etude biographique, littéraire et scientifique sur Galien*. Oeuvres anatomiques, physiologiques et médicales de Galien, traduites sur les textes imprimés et manuscrits, accompagnés de sommaires, de notes, de planches et d'une table des matières, précédées d'une introduction ou Etude biographique, littéraire et scientifique sur Galien vol. 2. J. B. Baillière, 1856, p. 732. url : https://books.google.fr/books?id=7cuoUi5Q3jkC.

[94] Kyle Gao ; Yina Gao ; Hongjie He ; Dening Lu ; Linlin Xu ; Jonathan Li. *NeRF: Neural Radiance Field in 3D Vision, A Comprehensive Review*. 2022. doi : 10.48550/ARXIV.2210.00379. url : https://arxiv.org/abs/2210.00379.

[95] M. Garland ; P.S. Heckbert. "Simplifying surfaces with color and texture using quadric error metrics". In : *Proceedings Visualization '98 (Cat. No.98CB36276)*. IEEE, 1998. doi : 10.1109/visual.1998.745312. url : https://doi.org/10.1109/visual.1998.745312.

[96] Michael Garland ; Paul S. Heckbert. "Surface simplification using quadric error metrics". In : *Proceedings of the 24th annual conference on Computer graphics and interactive techniques - SIGGRAPH '97*. SIGGRAPH '97. ACM Press, 1997. doi : 10.1145/258734.258849. url : http://dx.doi.org/10.1145/258734.258849.

[97] David Garner. *Eating Disorder Inventory2: Professional manual*. Juin 1991.

[98] Ashley N. Gearhardt ; William R. Corbin ; Kelly D. Brownell. “Preliminary validation of the Yale Food Addiction Scale”. In : *Appetite* 52.2 [avr. 2009], p. 430-436. issn : 0195-6663. doi : 10.1016/j.appet.2008.12.003. url : http://dx.doi.org/10.1016/j.appet.2008.12.003.

[99] Samuel Gerster ; Barbara Namer ; Mikael Elam ; Dominik R. Bach. “Testing a linear time invariant model for skin conductance responses by intraneural recording and stimulation”. In : *Psychophysiology* 55.2 [sept. 2017]. issn : 1469-8986. doi : 10.1111/psyp.12986. url : http://dx.doi.org/10.1111/psyp.12986.

[100] E.L. GIBSON ; E. DESMOND. “Chocolate Craving and Hunger State: Implications for the Acquisition and Expression of Appetite and Food Choice”. In : *Appetite* 32.2 [avr. 1999], p. 219-240. issn : 0195-6663. doi : 10.1006/appe.1998.0207. url : http://dx.doi.org/10.1006/appe.1998.0207.

[101] Alessandra Gorini ; Eric Griez ; Anna Petrova ; Giuseppe Riva. “Assessment of the emotional responses produced by exposure to real food, virtual food and photographs of food in patients affected by eating disorders”. In : *Annals of General Psychiatry* 9.1 [juill. 2010]. issn : 1744-859X. doi : 10.1186/1744-859x-9-30. url : http://dx.doi.org/10.1186/1744-859X-9-30.

[102] Kim L. Gratz ; Lizabeth Roemer. “Multidimensional Assessment of Emotion Regulation and Dysregulation: Development, Factor Structure, and Initial Validation of the Difficulties in Emotion Regulation Scale”. In : *Journal of Psychopathology and Behavioral Assessment* 26.1 [mars 2004], p. 41-54. issn : 0882-2689. doi : 10.1023/b:joba.0000007455.08539.94. url : http://dx.doi.org/10.1023/B:JOBA.0000007455.08539.94.

[103] Carlos M. Grilo ; Maria E. Pagano ; Robert L. Stout ; John C. Markowitz ; Emily B. Ansell ; Anthony Pinto ; Mary C. Zanarini ; Shirley Yen ; Andrew E. Skodol. “Stressful life events predict eating disorder relapse following remission: Six-year prospective outcomes”. In : *International Journal of Eating Disorders* 45.2 [mars 2011], p. 185-192. issn : 1098-108X. doi : 10.1002/eat.20909. url : http://dx.doi.org/10.1002/eat.20909.

[104] Sara E. Groff. “Is Enhanced Cognitive Behavioral Therapy an Effective Intervention in Eating Disorders? A Review”. In : *Journal of Evidence-Informed Social Work* 12.3 [jan. 2015], p. 272-288. issn : 2376-1415. doi : 10.1080/15433714.2013.835756. url : http://dx.doi.org/10.1080/15433714.2013.835756.

[105] Nancy Gullett ; Zuzanna Zajkowska ; Annabel Walsh ; Ross Harper ; Valeria Mondelli. "Heart rate variability (HRV) as a way to understand associations between the autonomic nervous system (ANS) and affective states: A critical review of the literature". In : *International Journal of Psychophysiology* 192 [oct. 2023], p. 35-42. ISSN : 0167-8760. DOI : 10.1016/j.ijpsycho.2023.08.001. URL : http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2023.08.001.

[106] Charlotte J. Hagerman ; Rebecca A. Ferrer ; William M. P. Klein ; Susan Persky. "Association of parental guilt with harmful versus healthful eating and feeding from a virtual reality buffet." In : *Health Psychology* 39.3 [mars 2020], p. 199-208. ISSN : 0278-6133. DOI : 10.1037/hea0000831. URL : http://dx.doi.org/10.1037/hea0000831.

[107] M. Halland ; G. Parthasarathy ; A. E. Bharucha ; D. A. Katzka. "Diaphragmatic breathing for rumination syndrome: efficacy and mechanisms of action". In : *Neurogastroenterology &amp Motility* 28.3 [déc. 2015], p. 384-391. DOI : 10.1111/nmo.12737. URL : https://doi.org/10.1111/nmo.12737.

[108] Nikita Mae Harris ; Robert W. Lindeman ; Clara Shui Fern Bah ; Daniel Gerhard ; Simon Hoermann. "Eliciting real cravings with virtual food: Using immersive technologies to explore the effects of food stimuli in virtual reality". In : *Frontiers in Psychology* 14 [avr. 2023]. ISSN : 1664-1078. DOI : 10.3389/fpsyg.2023.956585. URL : http://dx.doi.org/10.3389/fpsyg.2023.956585.

[109] R. Harris. *ACT made simple: An easy-to-read primer on acceptance and commitment therapy (2nd ed.)* New Harbinger Publications, 2019.

[110] Christina Hartmann ; Michael Siegrist. "Virtual reality and immersive approaches to contextual food testing". In : *Context*. Elsevier, 2019, p. 323-338. DOI : 10.1016/b978-0-12-814495-4.00016-7. URL : http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-814495-4.00016-7.

[111] Phillipa Hay ; David Chinn ; David Forbes ; Sloane Madden ; Richard Newton ; Lois Sugenor ; Stephen Touyz ; Warren Ward. "Royal Australian and New Zealand College of Psychiatrists clinical practice guidelines for the treatment of eating disorders". In : *Australian amp; New Zealand Journal of Psychiatry* 48.11 [oct. 2014], p. 977-1008. ISSN : 1440-1614. DOI : 10.1177/0004867414555814. URL : http://dx.doi.org/10.1177/0004867414555814.

[112] Suzanne Higgs. "Social norms and their influence on eating behaviours". In : *Appetite* 86 [mars 2015], p. 38-44. ISSN : 0195-6663. DOI : 10.1016/j.appet.2014.10.021. URL : http://dx.doi.org/10.1016/j.appet.2014.10.021.

[113] Tom HILDEBRANDT ; Katharine LOEB ; Sara TROUPE ; Sherrie DELINSKY. "Adjunctive mirror exposure for eating disorders: A randomized controlled pilot study". In : *Behaviour Research and Therapy* 50.12 [déc. 2012], p. 797-804. DOI : 10.1016/j.brat.2012.09.004. URL : https://doi.org/10.1016/j.brat.2012.09.004.

[114] Antoine HONE-BLANCHET ; Tobias WENSING ; Shirley FECTEAU. "The Use of Virtual Reality in Craving Assessment and Cue-Exposure Therapy in Substance Use Disorders". In : *Frontiers in Human Neuroscience* 8 [oct. 2014]. ISSN : 1662-5161. DOI : 10.3389/fnhum.2014.00844. URL : http://dx.doi.org/10.3389/fnhum.2014.00844.

[115] Anne HORVERS ; Natasha TOMBENG ; Tibor BOSSE ; Ard W. LAZONDER ; Inge MOLENAAR. "Detecting Emotions through Electrodermal Activity in Learning Contexts: A Systematic Review". In : *Sensors* 21.23 [nov. 2021], p. 7869. ISSN : 1424-8220. DOI : 10.3390/s21237869. URL : http://dx.doi.org/10.3390/s21237869.

[116] *HTC Official Website*. URL : https://www.htc.com/fr/ [visité le 12/02/2024].

[117] Fuxing HUANG ; Jianping HUANG ; Xiaoang WAN. "Influence of virtual color on taste: Multisensory integration between virtual and real worlds". In : *Computers in Human Behavior* 95 [juin 2019], p. 168-174. ISSN : 0747-5632. DOI : 10.1016/j.chb.2019.01.027. URL : http://dx.doi.org/10.1016/j.chb.2019.01.027.

[118] James I. HUDSON ; Eva HIRIPI ; Harrison G. POPE ; Ronald C. KESSLER. "The Prevalence and Correlates of Eating Disorders in the National Comorbidity Survey Replication". In : *Biological Psychiatry* 61.3 [fév. 2007], p. 348-358. ISSN : 0006-3223. DOI : 10.1016/j.biopsych.2006.03.040. URL : http://dx.doi.org/10.1016/j.biopsych.2006.03.040.

[119] Claudio IMPERATORI ; Miranda MANCINI ; Giacomo Della MARCA ; Enrico VALENTI ; Benedetto FARINA. "Feedback-Based Treatments for Eating Disorders and Related Symptoms: A Systematic Review of the Literature". In : *Nutrients* 10.11 [nov. 2018], p. 1806. DOI : 10.3390/nu10111806. URL : https://doi.org/10.3390/nu10111806.

[120] C. M. Althaff IRFAN ; Shusaku NOMURA ; Takaoi YAMAGISHI ; Yoshimasa KUROSAWA ; Kuniaki YAJIMA ; Katsuko T. NAKAHIRA ; Nobuyuki OGAWA ; Yoshimi FUKUMURA. "Utilization of Bio-Signals to Understand the Physiological States of e-Learners and Improve the Learning Contents". In : *IEICE Transactions on Information and Systems* E94-D.6 [2011], p. 1235-1242. ISSN : 1745-1361. DOI : 10.1587/transinf.e94.d.1235. URL : http://dx.doi.org/10.1587/transinf.E94.D.1235.

[121] Kubra Isgin-Atici ; Alper Ozkan ; Ufuk Celikcan ; Gozde Ede ; Cem Aslan ; Ahmed Samil Bulbul ; Zehra Buyuktuncer ; Nuray Kanbur. "Usability Study of a Novel Tool: The Virtual Cafeteria in Nutrition Education". In : *Journal of Nutrition Education and Behavior* 52.11 [nov. 2020], p. 1058-1065. ISSN : 1499-4046. DOI : 10.1016/j.jneb.2020.08.001. URL : http://dx.doi.org/10.1016/j.jneb.2020.08.001.

[122] *Sensory analysis - General guidance for the design of test rooms*. Standard. Avr. 2010.

[123] Le Ny J-F. *La réaction conditionnelle classique*. Presses Universitaires de France, « Le Psychologue », 1992, p. 21-45.

[124] Anita Jansen. "A learning model of binge eating: Cue reactivity and cue exposure". In : *Behaviour Research and Therapy* 36.3 [mars 1998], p. 257-272. DOI : 10.1016/s0005-7967(98)00055-2. URL : https://doi.org/10.1016/s0005-7967(98)00055-2.

[125] Anita Jansen ; Vera Voorwinde ; Yvette Hoebink ; Marlies Rekkers ; Carolien Martijn ; Sandra Mulkens. "Mirror exposure to increase body satisfaction: Should we guide the focus of attention towards positively or negatively evaluated body parts?" In : *Journal of Behavior Therapy and Experimental Psychiatry* 50 [mars 2016], p. 90-96. DOI : 10.1016/j.jbtep.2015.06.002. URL : https://doi.org/10.1016/j.jbtep.2015.06.002.

[126] Ania M. Jastreboff ; Rajita Sinha ; Cheryl Lacadie ; Dana M. Small ; Robert S. Sherwin ; Marc N. Potenza. "Neural Correlates of Stress- and Food Cue–Induced Food Craving in Obesity". In : *Diabetes Care* 36.2 [jan. 2013], p. 394-402. ISSN : 1935-5548. DOI : 10.2337/dc12-1112. URL : http://dx.doi.org/10.2337/dc12-1112.

[127] Charles Javerliat ; Pierre-Philippe Elst ; Anne-Lise Saive ; Patrick Baert ; Guillaume Lavoué. "Nebula: An Affordable Open-Source and Autonomous Olfactory Display for VR Headsets". In : *Proceedings of the 28th ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology*. New York, NY, United States : Association for Computing Machinery, 2022, p. 1-8.

[128] Paul M. Jenkinson ; Lauren Taylor ; Keith R. Laws. "Self-reported interoceptive deficits in eating disorders: A meta-analysis of studies using the eating disorder inventory". In : *Journal of Psychosomatic Research* 110 [juill. 2018], p. 38-45. ISSN : 0022-3999. DOI : 10.1016/j.jpsychores.2018.04.005. URL : http://dx.doi.org/10.1016/j.jpsychores.2018.04.005.

[129] Martie de Jong ; Maartje Schoorl ; Hans W. Hoek. “Enhanced cognitive behavioural therapy for patients with eating disorders: a systematic review”. In : *Current Opinion in Psychiatry* 31.6 [nov. 2018], p. 436-444. issn : 0951-7367. doi : 10.1097/yco.0000000000000452. url : http://dx.doi.org/10.1097/YCO.0000000000000452.

[130] Martie de Jong ; Philip Spinhoven ; Kees Korrelboom ; Mathijs Deen ; Iris van der Meer ; Unna N. Danner ; Selma van der Schuur ; Maartje Schoorl ; Hans W. Hoek. “Effectiveness of enhanced cognitive behavior therapy for eating disorders: A randomized controlled trial”. In : *International Journal of Eating Disorders* 53.5 [fév. 2020], p. 717-727. issn : 1098-108X. doi : 10.1002/eat.23239. url : http://dx.doi.org/10.1002/eat.23239.

[131] Summer D. Jung ; Sahej Claire ; Julie Fukunaga ; Joaquin Garcia ; Soh Kim. “Virtual Solutions for Gathering Consumer Feedback on Food: A Literature Review and Analysis”. In : *Virtual, Augmented and Mixed Reality*. Springer International Publishing, 2021, p. 452-471. isbn : 9783030775995. doi : 10.1007/978-3-030-77599-5_31. url : http://dx.doi.org/10.1007/978-3-030-77599-5_31.

[132] Kaizhang Kang ; Minyi Gu ; Cihui Xie ; Xuanda Yang ; Hongzhi Wu ; Kun Zhou. “Neural Reflectance Capture in the View-Illumination Domain”. In : *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics* 29.2 [fév. 2023], p. 1450-1462. issn : 2160-9306. doi : 10.1109/tvcg.2021.3117370. url : http://dx.doi.org/10.1109/TVCG.2021.3117370.

[133] Anouk Keizer ; Annemarie van Elburg ; Rossa Helms ; H. Chris Dijkerman. “A Virtual Reality Full Body Illusion Improves Body Image Disturbance in Anorexia Nervosa”. In : *PLOS ONE* 11.10 [oct. 2016]. Sous la dir. d’Andreas Stengel, e0163921. doi : 10.1371/journal.pone.0163921. url : https://doi.org/10.1371/journal.pone.0163921.

[134] Adrienne Key ; C. Louise George ; Desley Beattie ; Kate Stammers ; Hubert Lacey ; Glenn Waller. “Body image treatment within an inpatient program for anorexia nervosa: The role of mirror exposure in the desensitization process”. In : *International Journal of Eating Disorders* 31.2 [fév. 2002], p. 185-190. doi : 10.1002/eat.10027. url : https://doi.org/10.1002/eat.10027.

[135] Hyewon Kim ; Dong Jun Kim ; Won Ho Chung ; Kyung-Ah Park ; James D. K. Kim ; Dowan Kim ; Kiwon Kim ; Hong Jin Jeon. “Clinical predictors of cybersickness in virtual reality (VR) among highly stressed people”. In : *Scientific Reports* 11.1 [juin 2021]. doi : 10.1038/s41598-021-91573-w. url : https://doi.org/10.1038/s41598-021-91573-w.

[136] Jamie L King ; S Nicole Fearnbach ; Sriram Ramakrishnapillai ; Prakash Shankpal ; Paula J Geiselman ; Corby K Martin ; Krista B Murray ; Jennifer L Hicks ; F Joseph McClernon ; John W Apolzan ; Owen T Carmichael. "Perceptual Characterization of the Macronutrient Picture System (MaPS) for Food Image fMRI". In : *Frontiers in Psychology* 9 [2018], p. 17. doi : 10.3389/fpsyg.2018.00017.

[137] Antonia Koskina ; Iain C. Campbell ; Ulrike Schmidt. "Exposure therapy in eating disorders revisited". In : *Neuroscience &amp Biobehavioral Reviews* 37.2 [fév. 2013], p. 193-208. doi : 10.1016/j.neubiorev.2012.11.010. url : https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2012.11.010.

[138] Oswald D. Kothgassner ; Andreas Goreis ; Ines Bauda ; Amelie Ziegenaus ; Lisa M. Glenk ; Anna Felnhofer. "Virtual reality biofeedback interventions for treating anxiety". In : *Wiener klinische Wochenschrift* 134.S1 [jan. 2022], p. 49-59. doi : 10.1007/s00508-021-01991-z. url : https://doi.org/10.1007/s00508-021-01991-z.

[139] Jon C. Laberg ; Bjørn Ellertsen. "Psychophysiological Indicators of Craving in Alcoholics: Effects of cue exposure". In : *British Journal of Addiction* 82.12 [déc. 1987], p. 1341-1348. issn : 2056-5178. doi : 10.1111/j.1360-0443.1987.tb00437.x. url : http://dx.doi.org/10.1111/j.1360-0443.1987.tb00437.x.

[140] Claire Lamas ; Rébecca Shankland ; Isabelle Nicolas ; Julien-Daniel Guelfi. "Historique". In : *Les Troubles du Comportement Alimentaire*. Elsevier, 2012, p. 3-10. doi : 10.1016/b978-2-294-71572-3.00002-5. url : https://doi.org/10.1016/b978-2-294-71572-3.00002-5.

[141] Jeffrey S. Larson ; Joseph P. Redden ; Ryan S. Elder. "Satiation from sensory simulation: Evaluating foods decreases enjoyment of similar foods". In : *Journal of Consumer Psychology* 24.2 [sept. 2013], p. 188-194. doi : 10.1016/j.jcps.2013.09.001. url : https://doi.org/10.1016/j.jcps.2013.09.001.

[142] Tracey Ledoux ; Anthony S. Nguyen ; Christine Bakos-Block ; Patrick Bordnick. "Using virtual reality to study food cravings". In : *Appetite* 71 [déc. 2013], p. 396-402. issn : 0195-6663. doi : 10.1016/j.appet.2013.09.006. url : http://dx.doi.org/10.1016/j.appet.2013.09.006.

[143] Xinyu Lei ; Hao Du ; Pengxian Lu ; Hanlu Zhang ; Meng Zhang. "NaxSb Alloy-Based Low-Frequency Mechanical Energy Harvesters for Virtual Taste Sensations". In : *ACS Applied Materials amp; Interfaces* 16.5 [jan. 2024], p. 6048-6056. issn : 1944-8252. doi : 10.1021/acsami.3c14118. url : http://dx.doi.org/10.1021/acsami.3c14118.

[144] Cheri A. Levinson ; John Rapp ; Elizabeth N. Riley. “Addressing the fear of fat: extending imaginal exposure therapy for anxiety disorders to anorexia nervosa”. In : *Eating and Weight Disorders - Studies on Anorexia, Bulimia and Obesity* 19.4 [avr. 2014], p. 521-524. doi : 10.1007/s40519-014-0115-6. url : https://doi.org/10.1007/s40519-014-0115-6.

[145] Chong L. Lim ; Chris Rennie ; Robert J. Barry ; Homayoun Bahramali ; Ilario Lazzaro ; Barry Manor ; Evian Gordon. “Decomposing skin conductance into tonic and phasic components”. In : *International Journal of Psychophysiology* 25.2 [fév. 1997], p. 97-109. issn : 0167-8760. doi : 10.1016/s0167-8760(96)00713-1. url : http://dx.doi.org/10.1016/s0167-8760(96)00713-1.

[146] Jake Linardon ; Xochitl de la Piedad Garcia ; Leah Brennan. “Predictors, Moderators, and Mediators of Treatment Outcome Following Manualised Cognitive-Behavioural Therapy for Eating Disorders: A Systematic Review”. In : *European Eating Disorders Review* 25.1 [nov. 2016], p. 3-12. doi : 10.1002/erv.2492. url : https://doi.org/10.1002/erv.2492.

[147] Stefan Liszio ; Maic Masuch. “Interactive immersive virtual environments cause relaxation and enhance resistance to acute stress”. In : *Annual Review of CyberTherapy and Telemedicine* 17 [2019]. Cited by: 15, p. 65-71. url : https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85088226390&partnerID=40&md5=f5fdecbee442da24a514e17b8c4b64b4.

[148] A Lluch ; JP Kahn ; A Stricker-Krongrad ; O Ziegler ; P Drouin ; L Méjean. “Internal validation of a French version of the Dutch eating behaviour questionnaire”. In : *European Psychiatry* 11.4 [1996], p. 198-203. issn : 1778-3585. doi : 10.1016/0924-9338(96)88391-x. url : http://dx.doi.org/10.1016/0924-9338(96)88391-X.

[149] J. Lock ; D. Le Grange. *Treatment manual for anorexia nervosa: A family-based approach (2nd ed.)* Guilford Press, 2012.

[150] Tian Ling Low ; Roger Ho ; Cyrus Ho ; Wilson Tam. “The efficacy of virtual reality in the treatment of binge-purging eating disorders: A meta-analysis”. In : *European Eating Disorders Review* 29.1 [nov. 2020], p. 52-59. doi : 10.1002/erv.2804. url : https://doi.org/10.1002/erv.2804.

[151] Robin Lüddecke ; Anna Felnhofer. “Virtual Reality Biofeedback in Health: A Scoping Review”. In : *Applied Psychophysiology and Biofeedback* 47.1 [déc. 2021], p. 1-15. issn : 1573-3270. doi : 10.1007/s10484-021-09529-9. url : http://dx.doi.org/10.1007/s10484-021-09529-9.

[152] Marek S. Lukasiewicz ; Marco Rossoni ; Elena Spadoni ; Nicolò Dozio ; Marina Carulli ; Francesco Ferrise ; Monica Bordegoni. "An Open-Source Olfactory Display to Add the Sense of Smell to the Metaverse". In : *Journal of Computing and Information Science in Engineering* 24.2 [août 2023]. issn : 1944-7078. doi : 10.1115/1.4062889. url : http://dx.doi.org/10.1115/1.4062889.

[153] Jonna Malmberg ; Sanna Järvelä ; Jukka Holappa ; Eetu Haataja ; Xiaohua Huang ; Antti Siipo. "Going beyond what is visible: What multichannel data can reveal about interaction in the context of collaborative learning?" In : *Computers in Human Behavior* 96 [juill. 2019], p. 235-245. issn : 0747-5632. doi : 10.1016/j.chb.2018.06.030. url : http://dx.doi.org/10.1016/j.chb.2018.06.030.

[154] John C. Malone. "Did John B. Watson Really "Found" Behaviorism?" In : *The Behavior Analyst* 37.1 [mars 2014], p. 1-12. doi : 10.1007/s40614-014-0004-3. url : https://doi.org/10.1007/s40614-014-0004-3.

[155] Gian Mauro Manzoni ; Gian Luca Cesa ; Monica Bacchetta ; Gianluca Castelnuovo ; Sara Conti ; Andrea Gaggioli ; Fabrizia Mantovani ; Enrico Molinari ; Georgina Cárdenas-López ; Giuseppe Riva. "Virtual Reality–Enhanced Cognitive–Behavioral Therapy for Morbid Obesity: A Randomized Controlled Study with 1 Year Follow-Up". In : *Cyberpsychology, Behavior, and Social Networking* 19.2 [fév. 2016], p. 134-140. issn : 2152-2723. doi : 10.1089/cyber.2015.0208. url : http://dx.doi.org/10.1089/cyber.2015.0208.

[156] Jessica L. Maples-Keller ; Brian E. Bunnell ; Sae-Jin Kim ; Barbara O. Rothbaum. "The Use of Virtual Reality Technology in the Treatment of Anxiety and Other Psychiatric Disorders". In : *Harvard Review of Psychiatry* 25.3 [mai 2017], p. 103-113. doi : 10.1097/hrp.0000000000000138. url : https://doi.org/10.1097/hrp.0000000000000138.

[157] José H. Marco ; Conxa Perpiñá ; Cristina Botella. "Effectiveness of cognitive behavioral therapy supported by virtual reality in the treatment of body image in eating disorders: One year follow-up". In : *Psychiatry Research* 209.3 [oct. 2013], p. 619-625. issn : 0165-1781. doi : 10.1016/j.psychres.2013.02.023. url : http://dx.doi.org/10.1016/j.psychres.2013.02.023.

[158] Christopher Steven Marcum ; Megan R Goldring ; Colleen M McBride ; Susan Persky. "Modeling Dynamic Food Choice Processes to Understand Dietary Intervention Effects". In : *Annals of Behavioral Medicine* 52.3 [jan. 2018], p. 252-261. doi : 10.1093/abm/kax041. url : https://doi.org/10.1093/abm/kax041.

[159] Eglė Mazgelytė ; Virginija Rekienė ; Edita Dereškevičiūtė ; Tomas Petrėnas ; Jurgita Songailienė ; Algirdas Utkus ; Gintaras Chomentauskas ; Dovilė Karčiauskaitė. "Effects of Virtual Reality-Based Relaxation Techniques on Psychological, Physiological, and Biochemical Stress Indicators". In : *Healthcare* 9.12 [déc. 2021], p. 1729. DOI : 10.3390/healthcare9121729. URL : https://doi.org/10.3390/healthcare9121729.

[160] C M McBride ; S Persky ; L K Wagner ; M S Faith ; D S Ward. "Effects of providing personalized feedback of child's obesity risk on mothers' food choices using a virtual reality buffet". In : *International Journal of Obesity* 37.10 [mai 2013], p. 1322-1327. ISSN : 1476-5497. DOI : 10.1038/ijo.2013.87. URL : http://dx.doi.org/10.1038/ijo.2013.87.

[161] F. Joseph McClernon ; Brett Froeliger ; Corby K Martin ; Paula Geiselman ; Eric C Westman. *Macronutrient Picture System (MaPS) version 1.0*. Center for Addiction Science et Technology (CfAST), Duke University School of Medicine. Durham, NC, 2013.

[162] Wolf E. Mehling ; Cynthia Price ; Jennifer J. Daubenmier ; Mike Acree ; Elizabeth Bartmess ; Anita Stewart. "The Multidimensional Assessment of Interoceptive Awareness (MAIA)". In : *PLoS ONE* 7.11 [nov. 2012]. Sous la dir. de Manos Tsakiris, e48230. ISSN : 1932-6203. DOI : 10.1371/journal.pone.0048230. URL : http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0048230.

[163] H. L. Meiselman. "The role of context in food choice, food acceptance and food consumption." In : *The psychology of food choice*. CABI, jan. 2006, p. 179-199. DOI : 10.1079/9780851990323.0179. URL : https://doi.org/10.1079/9780851990323.0179.

[164] H.L. Meiselman ; J.L. Johnson ; W. Reeve ; J.E. Crouch. "Demonstrations of the influence of the eating environment on food acceptance". In : *Appetite* 35.3 [déc. 2000], p. 231-237. DOI : 10.1006/appe.2000.0360. URL : https://doi.org/10.1006/appe.2000.0360.

[165] Adrian Meule ; Rebecca Freund ; Ann Kathrin Skirde ; Claus Vögele ; Andrea Kübler. "Heart Rate Variability Biofeedback Reduces Food Cravings in High Food Cravers". In : *Applied Psychophysiology and Biofeedback* 37.4 [juin 2012], p. 241-251. DOI : 10.1007/s10484-012-9197-y. URL : https://doi.org/10.1007/s10484-012-9197-y.

[166] Adrian MEULE ; Tina HERMANN ; Andrea KÃ¼BLER. “A short version of the Food Cravings Questionnaireâ€”Trait: the FCQ-T-reduced”. In : *Frontiers in Psychology* 5 [mars 2014]. ISSN : 1664-1078. DOI : 10.3389/fpsyg.2014.00190. URL : http://dx.doi.org/10.3389/fpsyg.2014.00190.

[167] Ben MILDENHALL ; Pratul P. SRINIVASAN ; Matthew TANCIK ; Jonathan T. BARRON ; Ravi RAMAMOORTHI ; Ren NG. “NeRF: Representing Scenes as Neural Radiance Fields for View Synthesis”. In : *Lecture Notes in Computer Science*. Springer International Publishing, 2020, p. 405-421. ISBN : 9783030584528. DOI : 10.1007/978-3-030-58452-8_24. URL : http://dx.doi.org/10.1007/978-3-030-58452-8_24.

[168] Jessica MONCRIEFF-BOYD. “Anorexia Nervosa (Apepsia Hysterica, Anorexia Hysterica), Sir William Gull, 1873”. In : *Advances in Eating Disorders* 4.1 [sept. 2015], p. 112-117. DOI : 10.1080/21662630.2015.1079694. URL : https://doi.org/10.1080/21662630.2015.1079694.

[169] Johana MONTHUY-BLANC ; Stéphane BOUCHARD ; Marilou OUELLET ; Giulia CORNO ; Sylvain ICETA ; Michel ROUSSEAU. ““eLoriCorps Immersive Body Rating Scale”: Exploring the Assessment of Body Image Disturbances from Allocentric and Egocentric Perspectives”. In : *Journal of Clinical Medicine* 9.9 [sept. 2020], p. 2926. DOI : 10.3390/jcm9092926. URL : https://doi.org/10.3390/jcm9092926.

[170] Justin MUNAFO ; Meg DIEDRICK ; Thomas A. STOFFREGEN. “The virtual reality head-mounted display Oculus Rift induces motion sickness and is sexist in its effects”. In : *Experimental Brain Research* 235.3 [déc. 2016], p. 889-901. ISSN : 1432-1106. DOI : 10.1007/s00221-016-4846-7. URL : http://dx.doi.org/10.1007/s00221-016-4846-7.

[171] Alessandro MUNTONI ; Paolo CIGNONI. *PyMeshLab*. Jan. 2021. DOI : 10.5281/zenodo.4438750.

[172] Stuart B. MURRAY ; Katharine L. LOEB ; Daniel Le GRANGE. “Dissecting the Core Fear in Anorexia Nervosa”. In : *JAMA Psychiatry* 73.9 [sept. 2016], p. 891. DOI : 10.1001/jamapsychiatry.2016.1623. URL : https://doi.org/10.1001/jamapsychiatry.2016.1623.

[173] Linda MUSTELIN ; Anu RAEVUORI ; Hans Wijbrand HOEK ; Jaakko KAPRIO ; Anna KESKI-RAHKONEN. “Incidence and weight trajectories of binge eating disorder among young women in the community”. In : *International Journal of Eating Disorders* 48.8 [avr. 2015], p. 1106-1112. ISSN : 1098-108X. DOI : 10.1002/eat.22409. URL : http://dx.doi.org/10.1002/eat.22409.

[174] Katherine Nameth ; Theresa Brown ; Kim Bullock ; Sarah Adler ; Giuseppe Riva ; Debra Safer ; Cristin Runfola. “Translating Virtual Reality Cue Exposure Therapy for Binge Eating into a Real-World Setting: An Uncontrolled Pilot Study”. In : *Journal of Clinical Medicine* 10.7 [avr. 2021], p. 1511. doi : 10.3390/jcm10071511. url : https://doi.org/10.3390/jcm10071511.

[175] Steve Nebel ; Maik Beege ; Sascha Schneider ; Günter Daniel Rey. “A Review of Photogrammetry and Photorealistic 3D Models in Education From a Psychological Perspective”. In : *Frontiers in Education* 5 [août 2020]. issn : 2504-284X. doi : 10.3389/feduc.2020.00144. url : http://dx.doi.org/10.3389/feduc.2020.00144.

[176] Yana Nehmé ; Johanna Delanoy ; Florent Dupont ; Jean-Philippe Farrugia ; Patrick Le Callet ; Guillaume Lavoué. “Textured Mesh Quality Assessment: Large-Scale Dataset and Deep Learning-Based Quality Metric”. In : *ACM Transactions on Graphics* [avr. 2023]. Just Accepted. issn : 0730-0301. doi : 10.1145/3592786. url : https://doi.org/10.1145/3592786.

[177] W. Nicholls ; T. J. Devonport ; M. Blake. “The association between emotions and eating behaviour in an obese population with binge eating disorder”. In : *Obesity Reviews* 17.1 [déc. 2015], p. 30-42. issn : 1467-789X. doi : 10.1111/obr.12329. url : http://dx.doi.org/10.1111/obr.12329.

[178] P. Nivière ; D. Da Fonseca ; C. Deruelle ; F. Bat-Pitault. “Utilisation de la réalité virtuelle dans les troubles des conduites alimentaires”. In : *L’Encéphale* 47.3 [juin 2021], p. 263-269. issn : 0013-7006. doi : 10.1016/j.encep.2020.11.003. url : http://dx.doi.org/10.1016/j.encep.2020.11.003.

[179] Kimihiro Noguchi ; Yulia R. Gel ; Edgar Brunner ; Frank Konietschke. “nparLD: AnRSoftware Package for the Nonparametric Analysis of Longitudinal Data in Factorial Experiments”. In : *Journal of Statistical Software* 50.12 [2012]. issn : 1548-7660. doi : 10.18637/jss.v050.i12. url : http://dx.doi.org/10.18637/jss.v050.i12.

[180] Natalia C. Orloff ; Julia M. Hormes. “Pickles and ice cream! Food cravings in pregnancy: hypotheses, preliminary evidence, and directions for future research”. In : *Frontiers in Psychology* 5 [sept. 2014]. issn : 1664-1078. doi : 10.3389/fpsyg.2014.01076. url : http://dx.doi.org/10.3389/fpsyg.2014.01076.

[181] Maija Paakki ; Mari Sandell ; Anu Hopia. “Visual attractiveness depends on colorfulness and color contrasts in mixed salads”. In : *Food Quality and Preference* 76 [sept. 2019], p. 81-90. doi : 10.1016/j.foodqual.2019.04.004. url : https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2019.04.004.

[182] Robert PALMER. "Bulimia nervosa: 25 years on". In : *British Journal of Psychiatry* 185.6 [déc. 2004], p. 447-448. DOI : 10.1192/bjp.185.6.447. URL : https://doi.org/10.1192/bjp.185.6.447.

[183] L. J. PEREIRA ; A. van der BILT. "The influence of oral processing, food perception and social aspects on food consumption: a review". In : *Journal of Oral Rehabilitation* 43.8 [avr. 2016], p. 630-648. ISSN : 1365-2842. DOI : 10.1111/joor.12395. URL : http://dx.doi.org/10.1111/joor.12395.

[184] Conxa PERPIÑÁ ; Jose H. MARCO ; Cristina BOTELLA ; Rosa BAÑOS. "Tratamiento de la imagen corporal en los trastornos alimentarios mediante tratamiento cognitivo-comportamental apoyado con realidad virtual: resultados al año de seguimiento". In : *Psicología Conductual* 12 [jan. 2004], p. 519-537.

[185] Susan PERSKY ; Megan R. GOLDRING ; Sara A. TURNER ; Rachel W. COHEN ; William D. KISTLER. "Validity of assessing child feeding with virtual reality". In : *Appetite* 123 [avr. 2018], p. 201-207. DOI : 10.1016/j.appet.2017.12.007. URL : https://doi.org/10.1016/j.appet.2017.12.007.

[186] Vincent PICHOT ; Frédéric ROCHE ; Sébastien CELLE ; Jean-Claude BARTHÉLÉMY ; Florian CHOUCHOU. "HRVanalysis: A Free Software for Analyzing Cardiac Autonomic Activity". In : *Frontiers in Physiology* 7 [nov. 2016]. ISSN : 1664-042X. DOI : 10.3389/fphys.2016.00557. URL : http://dx.doi.org/10.3389/fphys.2016.00557.

[187] Benjamin PICKET ; Robin DANDO. "Environmental Immersion's Influence on Hedonics, Perceived Appropriateness, and Willingness to Pay in Alcoholic Beverages". In : *Foods* 8.2 [jan. 2019], p. 42. ISSN : 2304-8158. DOI : 10.3390/foods8020042. URL : http://dx.doi.org/10.3390/foods8020042.

[188] Stefano PINI ; Marianna ABELLI ; Barbara CARPITA ; Liliana DELL'OSSO ; Giovanni CASTELLINI ; Claudia CARMASSI ; Valdo RICCA. "Historical evolution of the concept of anorexia nervosa and relationships with orthorexia nervosa, autism, and obsessive-compulsive spectrum". In : *Neuropsychiatric Disease and Treatment* Volume 12 [juill. 2016], p. 1651-1660. DOI : 10.2147/ndt.s108912. URL : https://doi.org/10.2147/ndt.s108912.

[189] Joana PLA-SANJUANELO ; Marta FERRER-GARCIA ; José GUTIÉRREZ-MALDONADO ; Giuseppe RIVA ; Alexis ANDREU-GRACIA ; Antonios DAKANALIS ; Fernando FERNANDEZ-ARANDA ; Laura FORCANO ; Joan RIBAS-SABATÉ ; Nadine RIESCO ; Mar RUS-CALAFELL ; Isabel SÁNCHEZ ; Luis SANCHEZ-PLANELL. "Identifying specific cues and contexts related to bingeing behavior for the development of effective virtual

environments". In : *Appetite* 87 [avr. 2015], p. 81-89. DOI : 10.1016/j.appet.2014.12.098. URL : https://doi.org/10.1016/j.appet.2014.12.098.

[190] Joana PLA-SANJUANELO ; Marta FERRER-GARCIA ; Ferran VILALTA-ABELLA ; Giuseppe RIVA ; Antonios DAKANALIS ; Joan RIBAS-SABATÉ ; Alexis ANDREU-GRACIA ; Fernando FERNANDEZ-ARANDA ; Isabel SANCHEZ-DIAZ ; Neli ESCANDÓN-NAGEL ; Osane GOMEZ-TRICIO ; Virginia TENA ; José GUTIÉRREZ-MALDONADO. "Testing virtual reality-based cue-exposure software: Which cue-elicited responses best discriminate between patients with eating disorders and healthy controls?" In : *Eating and Weight Disorders - Studies on Anorexia, Bulimia and Obesity* 24.4 [juill. 2017], p. 757-765. DOI : 10.1007/s40519-017-0419-4. URL : https://doi.org/10.1007/s40519-017-0419-4.

[191] Janet POLIVY ; Patricia PLINER. ""She got more than me". Social comparison and the social context of eating". In : *Appetite* 86 [mars 2015], p. 88-95. ISSN : 0195-6663. DOI : 10.1016/j.appet.2014.08.007. URL : http://dx.doi.org/10.1016/j.appet.2014.08.007.

[192] Olga POLLATOS ; Eleana GEORGIOU. "Normal interoceptive accuracy in women with bulimia nervosa". In : *Psychiatry Research* 240 [juin 2016], p. 328-332. ISSN : 0165-1781. DOI : 10.1016/j.psychres.2016.04.072. URL : http://dx.doi.org/10.1016/j.psychres.2016.04.072.

[193] Nada POP-JORDANOVA. "Psychological characteristics and biofeedback mitigation in preadolescents with eating disorders". In : *Pediatrics International* 42.1 [jan. 2000], p. 76-81. DOI : 10.1046/j.1442-200x.2000.01176.x. URL : https://doi.org/10.1046/j.1442-200x.2000.01176.x.

[194] Bruno PORRAS-GARCIA ; Marta FERRER-GARCIA ; Eduardo SERRANO-TRONCOSO ; Marta CARULLA-ROIG ; Pau SOTO-USERA ; Helena MIQUEL-NABAU ; Laura Fernández-Del castillo OLIVARES ; Rosa MARNET-FIOL ; Isabel de la MONTAÑA SANTOS-CARRASCO ; Bianca BORSZEWSKI ; Marina DIAZ-MARSÁ ; Isabel SÁNCHEZ-DIAZ ; Fernando FERNÁNDEZ-ARANDA ; José GUTIÉRREZ-MALDONADO. "AN-VR-BE. A Randomized Controlled Trial for Reducing Fear of Gaining Weight and Other Eating Disorder Symptoms in Anorexia Nervosa through Virtual Reality-Based Body Exposure". In : *Journal of Clinical Medicine* 10.4 [fév. 2021], p. 682. DOI : 10.3390/jcm10040682. URL : https://doi.org/10.3390/jcm10040682.

[195] Bruno PORRAS-GARCIA ; Eduardo SERRANO-TRONCOSO ; Marta CARULLA-ROIG ; Pau SOTO-USERA ; Marta FERRER-GARCIA ; Natàlia FIGUERAS-PUIGDERRAJOLS ; Lena YILMAZ ; Yigit Onur SEN ; Nazila SHOJAEIAN ; José GUTIÉRREZ-MALDONADO. "Virtual Reality Body Exposure Therapy for Anorexia Nervosa. A Case Report

With Follow-Up Results". In : *Frontiers in Psychology* 11 [mai 2020]. DOI : 10.3389/fpsyg.2020.00956. URL : https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.00956.

[196] Stig POULSEN ; Susanne LUNN ; Sarah I. F. DANIEL ; Sofie FOLKE ; Birgit Bork MATHIESEN ; Hannah KATZNELSON ; Christopher G. FAIRBURN. "A Randomized Controlled Trial of Psychoanalytic Psychotherapy or Cognitive-Behavioral Therapy for Bulimia Nervosa". In : *American Journal of Psychiatry* 171.1 [jan. 2014], p. 109-116. ISSN : 1535-7228. DOI : 10.1176/appi.ajp.2013.12121511. URL : http://dx.doi.org/10.1176/appi.ajp.2013.12121511.

[197] John PRESCOTT. "Multisensory processes in flavour perception and their influence on food choice". In : *Current Opinion in Food Science* 3 [juin 2015], p. 47-52. ISSN : 2214-7993. DOI : 10.1016/j.cofs.2015.02.007. URL : http://dx.doi.org/10.1016/j.cofs.2015.02.007.

[198] Anthony A. PRIVRATSKY ; Keith A. BUSH ; Dominik R. BACH ; Emily M. HAHN ; Josh M. CISLER. "Filtering and model-based analysis independently improve skin-conductance response measures in the fMRI environment: Validation in a sample of women with PTSD". In : *International Journal of Psychophysiology* 158 [déc. 2020], p. 86-95. ISSN : 0167-8760. DOI : 10.1016/j.ijpsycho.2020.09.015. URL : http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2020.09.015.

[199] Daniel S. QUINTANA ; Adam J. GUASTELLA ; Iain S. MCGREGOR ; Ian B. HICKIE ; Andrew H. KEMP. "Heart rate variability predicts alcohol craving in alcohol dependent outpatients: Further evidence for HRV as a psychophysiological marker of self-regulation". In : *Drug and Alcohol Dependence* 132.1–2 [sept. 2013], p. 395-398. ISSN : 0376-8716. DOI : 10.1016/j.drugalcdep.2013.02.025. URL : http://dx.doi.org/10.1016/j.drugalcdep.2013.02.025.

[200] Angelique F. RALPH ; Leah BRENNAN ; Sue BYRNE ; Belinda CALDWELL ; Jo FARMER ; Laura M. HART ; Gabriella A. HERUC ; Sarah MAGUIRE ; Milan K. PIYA ; Julia QUIN ; Sarah K. TROBE ; Andrew WALLIS ; AJ WILLIAMS-TCHEN ; Phillipa HAY. "Management of eating disorders for people with higher weight: clinical practice guideline". In : *Journal of Eating Disorders* 10.1 [août 2022]. ISSN : 2050-2974. DOI : 10.1186/s40337-022-00622-w. URL : http://dx.doi.org/10.1186/s40337-022-00622-w.

[201] Julia REICHENBERGER ; Rebekka SCHNEPPER ; Ann-Kathrin AREND ; Jens BLECHERT. "Emotional eating in healthy individuals and patients with an eating disorder: evidence from psychometric, experimental and naturalistic studies". In : *Proceedings of the Nutrition Society* 79.3 [mai 2020], p. 290-299. ISSN : 1475-2719. DOI : 10.1017/s0029665120007004. URL : http://dx.doi.org/10.1017/S0029665120007004.

[202] Julia Reichenberger ; Rebekka Schnepper ; Ann-Kathrin Arend ; Anna Richard ; Ulrich Voderholzer ; Silke Naab ; Jens Blechert. "Emotional eating across different eating disorders and the role of body mass, restriction, and binge eating". In : *International Journal of Eating Disorders* 54.5 [mars 2021], p. 773-784. ISSN : 1098-108X. DOI : 10.1002/eat.23477. URL : http://dx.doi.org/10.1002/eat.23477.

[203] Erin E. Reilly ; Lisa M. Anderson ; Sasha Gorrell ; Katherine Schaumberg ; Drew A. Anderson. "Expanding exposure-based interventions for eating disorders". In : *International Journal of Eating Disorders* 50.10 [août 2017], p. 1137-1141. DOI : 10.1002/eat.22761. URL : https://doi.org/10.1002/eat.22761.

[204] Claudia Repetto ; Andrea Gaggioli ; Federica Pallavicini ; Pietro Cipresso ; Simona Raspelli ; Giuseppe Riva. "Virtual reality and mobile phones in the treatment of generalized anxiety disorders: a phase-2 clinical trial". In : *Personal and Ubiquitous Computing* 17.2 [oct. 2011], p. 253-260. ISSN : 1617-4917. DOI : 10.1007/s00779-011-0467-0. URL : http://dx.doi.org/10.1007/s00779-011-0467-0.

[205] G. Riva ; M. Bacchetta ; G. Cesa ; S. Conti ; E. Molinari. "Six-Month Follow-Up of In-Patient Experiential Cognitive Therapy for Binge Eating Disorders". In : *CyberPsychology amp; Behavior* 6.3 [juin 2003], p. 251-258. ISSN : 1557-8364. DOI : 10.1089/109493103322011533. URL : http://dx.doi.org/10.1089/109493103322011533.

[206] Giuseppe Riva. "The Key to Unlocking the Virtual Body: Virtual Reality in the Treatment of Obesity and Eating Disorders". In : *Journal of Diabetes Science and Technology* 5.2 [mars 2011], p. 283-292. ISSN : 1932-2968. DOI : 10.1177/193229681100500213. URL : http://dx.doi.org/10.1177/193229681100500213.

[207] Giuseppe Riva ; Monica Bacchetta ; Margherita Baruffi ; Silvia Rinaldi ; Francesco Vincelli ; Enrico Molinari. "Virtual reality-based experiential cognitive treatment of obesity and binge-eating disorders". In : *Clinical Psychology amp; Psychotherapy* 7.3 [2000], p. 209-219. ISSN : 1099-0879. DOI : 10.1002/1099-0879(200007)7:3<209::aid-cpp232>3.0.co;2-v. URL : http://dx.doi.org/10.1002/1099-0879(200007)7:3%3C209::AID-CPP232%3E3.0.CO;2-V.

[208] Giuseppe Riva ; Clelia Malighetti ; Silvia Serino. "Virtual reality in the treatment of eating disorders". In : *Clinical Psychology &amp Psychotherapy* 28.3 [mai 2021], p. 477-488. DOI : 10.1002/cpp.2622. URL : https://doi.org/10.1002/cpp.2622.

[209] Melis L. Riva Giuseppe. *Virtual reality for the treatment of body image disturbances*. Stud Health Technol Inform, 1997, p. 99-105.

[210] Fox RL. *Pagans and Christians: Religion and the Religious Life from the Second to the Fourth Century AD, When the Gods of Olympus Lost Their Dominion and Christianity, with the Conversion of Constantine, Triumphed in the Mediterranean World*. 1987.

[211] Christoph ROCKSTROH ; Johannes BLUM ; Anja S. GÖRITZ. "A mobile VR-based respiratory biofeedback game to foster diaphragmatic breathing". In : *Virtual Reality* 25.2 [oct. 2020], p. 539-552. ISSN : 1434-9957. DOI : 10.1007/s10055-020-00471-5. URL : http://dx.doi.org/10.1007/s10055-020-00471-5.

[212] Damaris J. ROHSENOW ; Anna Rose CHILDRESS ; Peter M. MONTI ; Raymond S. NIAURA ; David B. ABRAMS. "Cue Reactivity in Addictive Behaviors: Theoretical and Treatment Implications". In : *International Journal of the Addictions* 25.sup7 [jan. 1991], p. 957-993. ISSN : 0020-773X. DOI : 10.3109/10826089109071030. URL : http://dx.doi.org/10.3109/10826089109071030.

[213] Edmund T ROLLS ; Barbara J ROLLS ; Edward A ROWE. "Sensory-specific and motivation-specific satiety for the sight and taste of food and water in man". In : *Physiology & Behavior* 30.2 [1983], p. 185-192.

[214] ET ROLLS ; MJ BURTON ; F MORA. "Hypothalamic neuronal responses associated with the sight of food". In : *Brain research* 111.1 [1976], p. 53-66.

[215] Aviva ROMM. "Labor and Birth". In : *Botanical Medicine for Women's Health*. Elsevier, 2010, p. 398-415. DOI : 10.1016/b978-0-443-07277-2.00018-0. URL : https://doi.org/10.1016/b978-0-443-07277-2.00018-0.

[216] Gerald RUSSELL. "Bulimia nervosa: an ominous variant of anorexia nervosa". In : *Psychological Medicine* 9.3 [août 1979], p. 429-448. DOI : 10.1017/s0033291700031974. URL : https://doi.org/10.1017/s0033291700031974.

[217] Sara J. SAGUI-HENSON ; Rachel M. RADIN ; Kinnari JHAVERI ; Judson A. BREWER ; Michael COHN ; Wendy HARTOGENSIS ; Ashley E. MASON. "Negative Mood and Food Craving Strength Among Women with Overweight: Implications for Targeting Mechanisms Using a Mindful Eating Intervention". In : *Mindfulness* 12.12 [sept. 2021], p. 2997-3010. ISSN : 1868-8535. DOI : 10.1007/s12671-021-01760-z. URL : http://dx.doi.org/10.1007/s12671-021-01760-z.

[218] Haute autorité de SANTÉ. *Boulimie et hyperphagie boulimique Repérage et éléments généraux de prise en charge Méthode Recommandations pour la pratique clinique*. Juin 2019. URL : https://www.has-sante.fr/upload/docs/application/pdf/2019-09/boulimie_et_hyperphagie_boulimique_-_argumentaire.pdf.

[219] Poppy L. A. SCHOENBERG ; Anthony S. DAVID. “Biofeedback for Psychiatric Disorders: A Systematic Review”. In : *Applied Psychophysiology and Biofeedback* 39.2 [mai 2014], p. 109-135. DOI : 10.1007/s10484-014-9246-9. URL : https://doi.org/10.1007/s10484-014-9246-9.

[220] Martina Katharina SCHÖNIGER. “The role of immersive environments in the assessment of consumer perceptions and product acceptance: A systematic literature review”. In : *Food Quality and Preference* 99 [juill. 2022], p. 104490. DOI : 10.1016/j.foodqual.2021.104490. URL : https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2021.104490.

[221] Valentin SCHWIND ; Pascal KNIERIM ; Nico HAAS ; Niels HENZE. “Using Presence Questionnaires in Virtual Reality”. In : *Proceedings of the 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. ACM, mai 2019. DOI : 10.1145/3290605.3300590. URL : https://doi.org/10.1145/3290605.3300590.

[222] Barbara SCOLNICK ; David I MOSTOFSKY ; Robert J KEANE. “Pilot study employing heart rate variability biofeedback training to decrease anxiety in patients with eating disorders”. In : *Journal of Eating Disorders* 2.1 [juin 2014]. DOI : 10.1186/2050-2974-2-17. URL : https://doi.org/10.1186/2050-2974-2-17.

[223] Z. V. SEGAL ; J. M. G. WILLIAMS ; J. D. TEASDALE. *Mindfulness-based cognitive therapy for depression: A new approach to preventing relapse*. Guilford Press, 2002.

[224] Silvia SERINO ; Nicoletta POLLI ; Giuseppe RIVA. “From avatars to body swapping: The use of virtual reality for assessing and treating body-size distortion in individuals with anorexia”. In : *Journal of Clinical Psychology* 75.2 [déc. 2018], p. 313-322. DOI : 10.1002/jclp.22724. URL : https://doi.org/10.1002/jclp.22724.

[225] Fred SHAFFER ; Rollin MCCRATY ; Christopher L. ZERR. “A healthy heart is not a metronome: an integrative review of the heart’s anatomy and heart rate variability”. In : *Frontiers in Psychology* 5 [sept. 2014]. ISSN : 1664-1078. DOI : 10.3389/fpsyg.2014.01040. URL : http://dx.doi.org/10.3389/fpsyg.2014.01040.

[226] Roz SHAFRAN ; Zafra COOPER ; Christopher G. FAIRBURN. “Clinical perfectionism: a cognitive–behavioural analysis”. In : *Behaviour Research and Therapy* 40.7 [juill. 2002], p. 773-791. ISSN : 0005-7967. DOI : 10.1016/s0005-7967(01)00059-6. URL : http://dx.doi.org/10.1016/s0005-7967(01)00059-6.

[227] Bokyoung SHIN ; Jooyoung OH ; Byung-Hoon KIM ; Hesun Erin KIM ; Hyunji KIM ; Suji KIM ; Jae-Jin KIM. “Effectiveness of Self-Guided Virtual Reality–Based Cognitive Behavioral Therapy for Panic Disorder: Randomized Controlled Trial”. In : *JMIR Mental Health* 8.11 [nov. 2021], e30590. DOI : 10.2196/30590. URL : https://doi.org/10.2196/30590.

[228] Rachel SIGNORINI ; Jeanie SHEFFIELD ; Natalie RHODES ; Carmel FLEMING ; Warren WARD. "The Effectiveness of Enhanced Cognitive Behavioural Therapy (CBT-E): A Naturalistic Study within an Out-Patient Eating Disorder Service". In : *Behavioural and Cognitive Psychotherapy* 46.1 [juin 2017], p. 21-34. ISSN : 1469-1833. DOI : 10.1017/s1352465817000352. URL : http://dx.doi.org/10.1017/S1352465817000352.

[229] T. SIMILOWSKI ; L. LAVIOLETTE. *Évaluation multidimensionnelle de la conscience de soi*. ER10 UMPC, Département de Physiologie, Faculté de Médecine Pierre et Marie-Curie (Laboratoire de Physiopathologie Respiratoire), Paris 6 Université, Paris, France.

[230] Frédérique R.E. SMINK ; Daphne van HOEKEN ; Hans W. HOEK. "Epidemiology, course, and outcome of eating disorders". In : *Current Opinion in Psychiatry* 26.6 [nov. 2013], p. 543-548. ISSN : 0951-7367. DOI : 10.1097/yco.0b013e328365a24f. URL : http://dx.doi.org/10.1097/YCO.0b013e328365a24f.

[231] Marcia C. SMITH ; Mark H. THELEN. "Development and validation of a test for bulimia." In : *Journal of Consulting and Clinical Psychology* 52.5 [1984], p. 863-872. ISSN : 0022-006X. DOI : 10.1037/0022-006x.52.5.863. URL : http://dx.doi.org/10.1037/0022-006X.52.5.863.

[232] Bryan Pak-Hei SO ; Derek Ka-Hei LAI ; Daphne Sze-Ki CHEUNG ; Wing-Kai LAM ; James Chung-Wai CHEUNG ; Duo Wai-Chi WONG. "Virtual Reality-Based Immersive Rehabilitation for Cognitive- and Behavioral-Impairment-Related Eating Disorders: A VREHAB Framework Scoping Review". In : *International Journal of Environmental Research and Public Health* 19.10 [mai 2022], p. 5821. DOI : 10.3390/ijerph19105821. URL : https://doi.org/10.3390/ijerph19105821.

[233] Alexis D. SOUCHET ; Domitile LOURDEAUX ; Alain PAGANI ; Lisa REBENITSCH. "A narrative review of immersive virtual reality's ergonomics and risks at the workplace: cybersickness, visual fatigue, muscular fatigue, acute stress, and mental overload". In : *Virtual Reality* 27.1 [juill. 2022], p. 19-50. DOI : 10.1007/s10055-022-00672-0. URL : https://doi.org/10.1007/s10055-022-00672-0.

[234] Aaron STABEL et al. "DSM-III". In : *Encyclopedia of Autism Spectrum Disorders*. Springer New York, 2013, p. 999-1001. DOI : 10.1007/978-1-4419-1698-3_1442. URL : https://doi.org/10.1007/978-1-4419-1698-3_1442.

[235] P. STAIGER ; S. DAWE ; R. MCCARTHY. "Responsivity to food cues in bulimic women and controls". In : *Appetite* 35.1 [août 2000], p. 27-33. ISSN : 0195-6663. DOI : 10.1006/appe.2000.0327. URL : http://dx.doi.org/10.1006/appe.2000.0327.

[236] Mark W.J Strachan ; Fiona M.E Ewing ; Brian M Frier ; Alison Harper ; Ian J Deary. "Food cravings during acute hypoglycaemia in adults with Type 1 diabetes". In : *Physiology amp; Behavior* 80.5 [fév. 2004], p. 675-682. ISSN : 0031-9384. DOI : 10.1016/j.physbeh.2003.12.003. URL : http://dx.doi.org/10.1016/j.physbeh.2003.12.003.

[237] Tatjana van Strien ; Jan E. R. Frijters ; Gerard P. A. Bergers ; Peter B. Defares. "The Dutch Eating Behavior Questionnaire (DEBQ) for assessment of restrained, emotional, and external eating behavior". In : *International Journal of Eating Disorders* 5.2 [fév. 1986], p. 295-315. ISSN : 1098-108X. DOI : 10.1002/1098-108x(198602)5:2<295::aid-eat2260050209>3.0.co;2-t. URL : http://dx.doi.org/10.1002/1098-108X(198602)5:2%3C295::AID-EAT2260050209%3E3.0.CO;2-T.

[238] Danny Taufik ; Marvin C. Kunz ; Marleen C. Onwezen. "Changing consumer behaviour in virtual reality: A systematic literature review". In : *Computers in Human Behavior Reports* 3 [jan. 2021], p. 100093. ISSN : 2451-9588. DOI : 10.1016/j.chbr.2021.100093. URL : http://dx.doi.org/10.1016/j.chbr.2021.100093.

[239] Martin Teufel ; Kerstin Stephan ; Axel Kowalski ; Saskia Käsberger ; Paul Enck ; Stephan Zipfel ; Katrin E. Giel. "Impact of Biofeedback on Self-efficacy and Stress Reduction in Obesity: A Randomized Controlled Pilot Study". In : *Applied Psychophysiology and Biofeedback* 38.3 [juin 2013], p. 177-184. DOI : 10.1007/s10484-013-9223-8. URL : https://doi.org/10.1007/s10484-013-9223-8.

[240] Nattapong Thammasan ; Ivo V. Stuldreher ; Elisabeth Schreuders ; Matteo Giletta ; Anne-Marie Brouwer. "A Usability Study of Physiological Measurement in School Using Wearable Sensors". In : *Sensors* 20.18 [sept. 2020], p. 5380. ISSN : 1424-8220. DOI : 10.3390/s20185380. URL : http://dx.doi.org/10.3390/s20185380.

[241] Heather Thompson-Brenner ; Rebecca M. Shingleton ; Douglas R. Thompson ; Dana A. Satir ; Lauren K. Richards ; Elizabeth M. Pratt ; David H. Barlow. "Focused vs. Broad enhanced cognitive behavioral therapy for bulimia nervosa with comorbid borderline personality: A randomized controlled trial". In : *International Journal of Eating Disorders* 49.1 [déc. 2015], p. 36-49. ISSN : 1098-108X. DOI : 10.1002/eat.22468. URL : http://dx.doi.org/10.1002/eat.22468.

[242] David F. Tolin. *Doing CBT: A Comprehensive Guide to Working with Behaviors, Thoughts, and Emotions*. Guilford Publications, 2016.

[243] David Tomasi ; Hannah Ferris ; Priscilla Booraem ; Lindsay Enman ; Sheri Gates ; Emily Reyns. “Olfactory Virtual Reality (OVR) for Wellbeing and Reduction of Stress, Anxiety, and Pain”. In : *Journal of Medical Research and Health Sciences* [2021], p. 1212-1221. doi : 10.15520/jmrhs.v4i3.322. url : https://doi.org/10.15520/jmrhs.v4i3.322.

[244] Xin Tong ; Diane Gromala ; Amber Choo ; Ashfaq Amin ; Chris Shaw. “The Virtual Meditative Walk: An Immersive Virtual Environment for Pain Self-modulation Through Mindfulness-Based Stress Reduction Meditation”. In : *Virtual, Augmented and Mixed Reality*. Springer International Publishing, 2015, p. 388-397. isbn : 9783319210674. doi : 10.1007/978-3-319-21067-4_40. url : http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-21067-4_40.

[245] Janet Treasure ; Valentina Cardi ; Jenni Leppanen ; Robert Turton. “New treatment approaches for severe and enduring eating disorders”. In : *Physiology amp; Behavior* 152 [déc. 2015], p. 456-465. issn : 0031-9384. doi : 10.1016/j.physbeh.2015.06.007. url : http://dx.doi.org/10.1016/j.physbeh.2015.06.007.

[246] Nicholas A. Troop ; Janet L. Treasure. “Psychosocial factors in the onset of eating disorders: Responses to life-events and difficulties”. In : *British Journal of Medical Psychology* 70.4 [déc. 1997], p. 373-385. issn : 0007-1129. doi : 10.1111/j.2044-8341.1997.tb01913.x. url : http://dx.doi.org/10.1111/j.2044-8341.1997.tb01913.x.

[247] Elisabetta Truglia ; Edoardo Mannucci ; Stefano Lassi ; Carlo Maria Rotella ; Carlo Faravelli ; Valdo Ricca. “Aggressiveness, Anger and Eating Disorders: A Review”. In : *Psychopathology* 39.2 [2006], p. 55-68. issn : 1423-033X. doi : 10.1159/000090594. url : http://dx.doi.org/10.1159/000090594.

[248] Nikita Mae B. Tuanquin ; Simon Hoermann ; Carl James Petersen ; Robert W. Lindeman. “The Effects of Olfactory Stimulation and Active Participation on Food Cravings in Virtual Reality”. In : *2018 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR)*. 2018, p. 709-710. doi : 10.1109/VR.2018.8446279.

[249] G. Turpin ; T. Grandfield. “Electrodermal Activity”. In : *Encyclopedia of Stress*. Elsevier, 2007, p. 899-902. doi : 10.1016/b978-012373947-6.00139-2. url : http://dx.doi.org/10.1016/B978-012373947-6.00139-2.

[250] Başak Gökçe undefinedöl ; Melike İmre ; Seydi Yikmiş. “Virtual reality and augmented reality technologies in gastronomy: A review”. In : *eFood* 4.3 [avr. 2023]. issn : 2666-3066. doi : 10.1002/efd2.84. url : http://dx.doi.org/10.1002/efd2.84.

[251] Chin-Yih Ung ; Marino Menozzi ; Christina Hartmann ; Michael Siegrist. “Innovations in consumer research: The virtual food buffet”. In : *Food Quality and Preference* 63 [jan. 2018], p. 12-17. doi : 10.1016/j.foodqual.2017.07.007. url : https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2017.07.007.

[252] Unity Technologies. *SteamVR Plugin*. Unity Asset Store. 2022. url : https://assetstore.unity.com/packages/tools/integration/steamvr-plugin-32647 [visité le 12/02/2024].

[253] Martial Van der Linden ; Mathieu d'Acremont ; Ariane Zermatten ; Françoise Jermann ; Frank Larøi ; Sylvie Willems ; Anne-Claude Juillerat ; Antoine Bechara. “A French Adaptation of the UPPS Impulsive Behavior Scale”. In : *European Journal of Psychological Assessment* 22.1 [jan. 2006], p. 38-42. issn : 2151-2426. doi : 10.1027/1015-5759.22.1.38. url : http://dx.doi.org/10.1027/1015-5759.22.1.38.

[254] Giorgia Varallo ; Clelia Malighetti ; Gianluca Cesa ; Gian Mauro Manzoni ; Gianluca Castelnuovo ; Giuseppe Riva. “Virtual reality–enhanced cognitive–behavioral therapy for obese patients with bulimia nervosa: a pilot study with one-year follow-up.” In : [juin 2020]. doi : 10.31234/osf.io/6kfvr. url : http://dx.doi.org/10.31234/osf.io/6kfvr.

[255] *Varjo Official Website*. url : https://varjo.com/products/varjo-xr-3/ [visité le 27/02/2024].

[256] Isabelle Viaud-Delmon. *Igroup Presence Questionnaire (IPQ) item download*. url : http://www.igroup.org/pq/ipq/IPQinstructionsFr.doc.

[257] Kelly Vitousek ; Frederic Manke. “Personality variables and disorders in anorexia nervosa and bulimia nervosa.” In : *Journal of Abnormal Psychology* 103.1 [fév. 1994], p. 137-147. doi : 10.1037/0021-843x.103.1.137. url : https://doi.org/10.1037/0021-843x.103.1.137.

[258] Comité d'Éthique VR. *Charte de recommandations sur l'usage de la Réalité Virtuelle*. Oct. 2019. url : https://vr-connection.com/fr/2021/04/29/le-comite-dethique-vr-publie-la-premiere-charte-de-recommandations-sur-lusage-de-la-realite-virtuelle-une-compilation-de-regles-de-precaution-pour-eviter-les-effets/.

[259] Nadine Elisa van der Waal ; Loes Janssen ; Marjolijn Antheunis ; Emiel Culleton ; Laura Nynke van der Laan. “The appeal of virtual chocolate: A systematic comparison of psychological and physiological food cue responses to virtual and real food”. In : *Food Quality and Preference* 90 [juin 2021], p. 104167. doi : 10.1016/

j.foodqual.2020.104167. URL : https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2020.104167.

[260] Qian Janice WANG ; Francisco BARBOSA ESCOBAR ; Patricia ALVES DA MOTA ; Carlos VELASCO. "Getting started with virtual reality for sensory and consumer science: Current practices and future perspectives". In : *Food Research International* 145 [juill. 2021], p. 110410. ISSN : 0963-9969. DOI : 10.1016/j.foodres.2021.110410. URL : http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110410.

[261] Raphael P. WEIBEL ; Jasmine I. KERR ; Mara NAEGELIN ; Andrea FERRARIO ; Victor R. SCHINAZI ; Roberto La MARCA ; Christoph HOELSCHER ; Urs M. NATER ; Florian von WANGENHEIM. "Virtual reality-supported biofeedback for stress management: Beneficial effects on heart rate variability and user experience". In : *Computers in Human Behavior* 141 [avr. 2023], p. 107607. DOI : 10.1016/j.chb.2022.107607. URL : https://doi.org/10.1016/j.chb.2022.107607.

[262] Florian WEIDNER ; Jana E. MAIER ; Wolfgang BROLL. "Eating, Smelling, and Seeing: Investigating Multisensory Integration and (In)congruent Stimuli while Eating in VR". In : *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics* 29.5 [mai 2023], p. 2423-2433. ISSN : 2160-9306. DOI : 10.1109/tvcg.2023.3247099. URL : http://dx.doi.org/10.1109/TVCG.2023.3247099.

[263] Harvey P. WEINGARTEN ; Dawn ELSTON. "The phenomenology of food cravings". In : *Appetite* 15.3 [déc. 1990], p. 231-246. DOI : 10.1016/0195-6663(90)90023-2. URL : https://doi.org/10.1016/0195-6663(90)90023-2.

[264] Stephen P. WHITESIDE ; Donald R. LYNAM. "The Five Factor Model and impulsivity: using a structural model of personality to understand impulsivity". In : *Personality and Individual Differences* 30.4 [mars 2001], p. 669-689. ISSN : 0191-8869. DOI : 10.1016/s0191-8869(00)00064-7. URL : http://dx.doi.org/10.1016/S0191-8869(00)00064-7.

[265] Ashley A. WIEDEMANN ; Valentina IVEZAJ ; Rachel D. BARNES. "Characterizing emotional overeating among patients with and without binge-eating disorder in primary care". In : *General Hospital Psychiatry* 55 [nov. 2018], p. 38-43. ISSN : 0163-8343. DOI : 10.1016/j.genhosppsych.2018.09.003. URL : http://dx.doi.org/10.1016/j.genhosppsych.2018.09.003.

[266] Leonie WIENEKE ; Pauline SCHMUCK ; Julia ZACHER ; Mark W. GREENLEE ; Tina PLANK. "Effects of Congruent and Incongruent Stimulus Colour on Flavour Discriminations". In : *i-Perception* 9.2 [mars 2018], p. 204166951876146. ISSN : 2041-6695. DOI : 10.1177/2041669518761463. URL : http://dx.doi.org/10.1177/2041669518761463.

[267] G Terence Wilson ; Roz Shafran. “Eating disorders guidelines from NICE”. In : *The Lancet* 365.9453 [jan. 2005], p. 79-81. ISSN : 0140-6736. DOI : 10.1016/s0140-6736(04)17669-1. URL : http://dx.doi.org/10.1016/S0140-6736(04)17669-1.

[268] Jacob O. Wobbrock ; Leah Findlater ; Darren Gergle ; James J. Higgins. “The Aligned Rank Transform for Nonparametric Factorial Analyses Using Only ANOVA Procedures”. In : *Proceedings of the ACM Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI ’11)*. New York : ACM Press, 2011, p. 143-146. URL : http://depts.washington.edu/aimgroup/proj/art/.

[269] I. Wolz ; A. Sauvaget ; R. Granero ; G. Mestre-Bach ; M. Baño ; V. Martin-Romera ; M. Veciana de las Heras ; S. Jiménez-Murcia ; A. Jansen ; A. Roefs ; F. Fernández-Aranda. “Subjective craving and event-related brain response to olfactory and visual chocolate cues in binge-eating and healthy individuals”. In : *Scientific Reports* 7.1 [fév. 2017]. DOI : 10.1038/srep41736. URL : https://doi.org/10.1038/srep41736.

[270] S. A. Wonderlich ; C. B. Peterson ; R. D. Crosby ; T. L. Smith ; M. H. Klein ; J. E. Mitchell ; S. J. Crow. “A randomized controlled comparison of integrative cognitive-affective therapy (ICAT) and enhanced cognitive-behavioral therapy (CBT-E) for bulimia nervosa”. In : *Psychological Medicine* 44.3 [mai 2013], p. 543-553. ISSN : 1469-8978. DOI : 10.1017/s0033291713001098. URL : http://dx.doi.org/10.1017/S0033291713001098.

[271] Chengyan Xu ; Michael Siegrist ; Christina Hartmann. “The application of virtual reality in food consumer behavior research: A systematic review”. In : *Trends in Food Science & Technology* 116 [oct. 2021], p. 533-544. DOI : 10.1016/j.tifs.2021.07.015. URL : https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.07.015.

[272] Louise Buonalumi Tacito Yugar ; Juan Carlos Yugar-Toledo ; Nelson Dinamarco ; Luis Gustavo Sedenho-Prado ; Beatriz Vaz Domingues Moreno ; Tatiane de Azevedo Rubio ; Andre Fattori ; Bruno Rodrigues ; Jose Fernando Vilela-Martin ; Heitor Moreno. “The Role of Heart Rate Variability (HRV) in Different Hypertensive Syndromes”. In : *Diagnostics* 13.4 [fév. 2023], p. 785. ISSN : 2075-4418. DOI : 10.3390/diagnostics13040785. URL : http://dx.doi.org/10.3390/diagnostics13040785.

[273] Stephan Zipfel ; Beate Wild ; Gaby Gross ; Hans-Christoph Friederich ; Martin Teufel ; Dieter Schellberg ; Katrin E Giel ; Martina de Zwaan ; Andreas Dinkel ; Stephan Herpertz ; Markus Burgmer ; Bernd Löwe ; Sefik Tagay ; Jörn von Wietersheim ; Almut Zeeck ; Carmen Schade-Brittinger ; Henning Schauenburg ; Wolfgang Herzog. “Focal psychodynamic therapy, cognitive be-

haviour therapy, and optimised treatment as usual in outpatients with anorexia nervosa (ANTOP study): randomised controlled trial". In : *The Lancet* 383.9912 [jan. 2014], p. 127-137. ISSN : 0140-6736. DOI : 10.1016/s0140-6736(13)61746-8. URL : http://dx.doi.org/10.1016/S0140-6736(13)61746-8.

[274] Abdul Hannan Bin ZULKARNAIN ; Zoltán KÓKAI ; Attila GERE. "Assessment of a virtual sensory laboratory for consumer sensory evaluations". In : *Heliyon* 10.3 [fév. 2024], e25498. ISSN : 2405-8440. DOI : 10.1016/j.heliyon.2024.e25498. URL : http://dx.doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e25498.

Annexes

Sommaire . . . . . .

Annexe 1 : Script du scénario de l'environnement ReVBED

Annexe 2 : Traduction française du "Bulimia Test" BULIT

Annexe 3 : Traduction française du EDI-2

Annexe 4 : Traduction française du DEBQ

Annexe 5 : Traduction française de la MAIA

Annexe 6 : Traduction française de l'UPPS

Annexe 7 : Traduction française de la DERS

Annexe 8 : Traduction française de l'YFAS 2.0

Annexe 9 : Traduction française de la FCQ-T-r

Annexe 10 : Traduction française du SSQ

Annexe 11 : Traduction française de l'IPQ

Annexe 12 : Résultats des tests appariées de Wilcoxon, entre les moyennes des scores de craving, pour chaque paire de pièce d'exposition pour les deux populations (patients et témoins)

Annexe 13 : Résultats des tests appariées de Wilcoxon, entre les moyennes des scores d'anxiété, pour chaque paire de pièce d'exposition pour les deux populations (patients et témoins)

Annexe 14 : Résultats des tests appariées de Wilcoxon, entre les moyennes des conductance cutanée mesurées, pour chaque paire de pièce d'exposition pour les deux populations (patients et témoins)

Annexe 15 : Résultats des tests appariées de Wilcoxon, entre les moyennes des puissances spectrales des HF de la VFC mesurée, pour chaque paire de pièce d'exposition pour les deux populations (patients et témoins)

Annexe 16 : Dénominations, formats d'origine, auteurs, liens et licences Sketchfab des 38 aliments 3D sélectionnés dans Sketchfab

Annexe 17 : Résultats de l'étude préliminaires de la classification des 38 visuels 3D d'aliments

Annexe 18 : Représentations des 70 modèles 3D finaux

Annexe 19 : Résultats des T-tests ou des comparaisons appariées de Wilcoxon entre les différents types d'aliment 3D. Les lignes en jaune correspondent à des comparaisons significatives (p-value$<$0.05).

Annexe 20 : Résultats des tests appariés de normalité de Shapiro-Wilk entre les différents niveaux de qualité des modèles 3D. Les lignes en jaune correspondent à une validation de l'hypothèse de normalité (p$>$0.05).

A.1 Annexe 1 : Script du scénario de l'environnement ReVBED

Script du scénario de l'environnement ReVBED

Hall de l'immeuble

E. : « Bienvenue dans l'environnement que les équipes de recherche ENISE/CHU ont créé. C'est depuis cette pièce que nous allons accéder à l'appartement dans lequel vous pourrez évoluer. Je serai avec vous tout au long de l'exposition pour vous guider dans chacune des pièces de l'appartement.

Pouvez-vous me lire le message d'informations sur le mur svp ?

Vous allez ensuite vous positionner au centre du hall face à la porte d'entrée de l'appartement.

Avant de prendre connaissance du scénario de l'exposition, j'ai besoin de savoir :

A combien cotez-vous votre niveau de craving alimentaire de 0 (aucun craving alimentaire ressenti) à 10 (craving alimentaire maximal ressenti) ?

[Cotation T0]

A combien cotez-vous votre niveau d'anxiété de 0 (aucune anxiété ressentie) à 10 (anxiété maximale ressentie) ?

Le scénario de l'exposition que vous allez réaliser est le suivant :

Nous sommes vendredi soir, il est 19h, vous rentrez de votre journée de travail après une semaine déjà bien chargée en stress et soucis divers et variés, votre banque a également essayé de vous joindre plusieurs fois. Des amis vous ont prévenu qu'ils passeraient pour l'apéritif chez vous en début de soirée, vous n'avez pas osé refuser. Ils arriveront dans peu de temps. Vos enfants sont normalement déjà rentrés. Votre conjoint vous a prévenu qu'il serait en retard ce soir. Vous devez gérer seule les préparatifs pour la soirée.

Vous allez avoir différentes tâches à réaliser avant l'arrivée de vos amis mais vous avez peu de temps devant vous...

Avez-vous bien compris le scénario ? Pour vous aider, vous pouvez visualiser votre famille, vos propres amis… Quand vous serez prête nous pourrons débuter l'exposition.

Vous pouvez fermer les yeux pendant que nous vous téléportons dans le hall d'entrée de l'appartement, je reste à vos côtés pendant toute l'immersion. »

DEBUT DE L'EXPLORATION

Hall d'entrée de l'appartement

« Ouvrez les yeux : nous sommes désormais dans le hall d'entrée de l'appartement. C'est une pièce dite sas, pièce neutre qui communique avec les autres pièces de l'appartement où nous reviendrons souvent, je vous laisse la découvrir.

Placez-vous maintenant au centre du hall : derrière vous il y a la porte d'entrée ; à votre droite, 2 portes à petits carreaux vitrés ; à votre gauche, 2 portes noires pleines. Nous allons commencer par ce côté gauche de l'appartement.

Tournez-vous face à la première porte à gauche s'il vous plaît.

Maintenant fermez les yeux : nous allons vous faire entrer dans la pièce. »

Pièce n°1 - Chambre / bureau

E. : « Ouvrez les yeux. Vous êtes dans votre chambre, votre bureau est à votre gauche. De cette position initiale, vous pouvez observer toute la pièce. » Trois tâches vous sont demandées ici :

- prendre connaissance des documents et informations sur le bureau,
- passer devant le miroir
- choisir une tenue pour la soirée

Rappelez-vous que vos amis doivent bientôt arriver : vous avez peu de temps devant vous.

Vous pouvez évoluer dans la pièce en marchant librement de la gauche vers la droite.

En commençant par prendre connaissance du courrier déposé en vrac sur le bureau, vous pouvez me décrire rapidement ce que vous voyez.

Je vous demande de simplement prendre connaissance des informations et de répertorier mentalement ce que vous aurez à faire plus tard car vous n'avez pas le temps de les gérer maintenant.

Maintenant, je vous demande de passer volontairement en marche libre devant le miroir pour vous rendre à l'armoire à vêtements.

Devant l'armoire, faites un choix de tenue pour la soirée.

Malheureusement vous n'avez tout de suite ni le temps de classer le courrier ni le temps de vous changer ! Vous le ferez plus tard juste avant l'arrivée des invités, gardez tout en tête.

Je vous invite à regagner le hall d'entrée en vous positionnant devant la porte restée ouverte. Fermez les yeux. » Hall d'entrée de l'appartement

E. : « Rouvrez les yeux : vous êtes de retour dans le hall de l'appartement

- **A combien cotez-vous votre niveau de craving alimentaire de 0 (aucun craving alimentaire ressenti) à 10 (craving alimentaire maximal ressenti) ?**

[Cotation T1]

- **A combien cotez-vous votre niveau d'anxiété de 0 (aucune anxiété ressentie) à 10 (anxiété maximale ressentie) ?**

Vous allez désormais vous rendre dans la seconde pièce à votre gauche. Vous pouvez retourner au centre du hall et fermer les yeux. »

Pièce n°2 - Chambre de l'adolescent

E. : « Ouvrez les yeux. Je vais vous demander d'observer la pièce et de me décrire la chambre.

Vous pouvez saluer l'adolescent juste pour signaler votre présence. Et lui dire que les invités vont arriver d'une minute à l'autre.

Je ne suis pas sure qu'il vous entende en fait… il a l'air trop hypnotisé par l'écran de son ordinateur… Même si vous aimeriez, vous ne pouvez pas communiquer avec lui. Il aurait peut-être pu vous aider un peu mais vous ne pourrez pas compter sur lui…

Vous n'avez plus beaucoup de temps.

Je vous laisse sortir de la chambre en vous positionnant devant la porte. Dirigez votre regard en direction du hall et fermez les yeux. »

Hall d'entrée de l'appartement

E. : « Rouvrez les yeux : vous êtes de retour dans le hall de l'appartement.

- **A combien cotez-vous votre niveau de craving alimentaire de 0 (aucun craving alimentaire ressenti) à 10 (craving alimentaire maximal ressenti) ?**

[Cotation T2]

- **A combien cotez-vous votre niveau d'anxiété de 0 (aucune anxiété ressentie) à 10 (anxiété maximale ressentie) ?**

Vous allez continuer votre évolution dans l'autre partie de l'appartement : vers les portes à carreaux vitrés sur votre droite.

Replacez-vous au centre du hall d'entrée et regardez la porte orange. Fermez les yeux. » Pièce n°3 - Salon

E. : « Ouvrez les yeux. Positionnez-vous à côté de la statue de chat à l'entrée afin d'avoir une vue d'ensemble.

De nouveau, vous allez observer l'environnement autour de vous et découvrir la pièce en marchant librement. Rapprochez-vous de la table du salon et décrivez-moi ce que vous voyez ; ce que vous entendez.

Vous devrez nettoyer la pièce et débarrasser la table, mais pas maintenant, vous n'avez pas le temps. Vous devriez vous rendre à la cuisine pour préparer un apéritif.

Vous allez vous placer à nouveau face à la porte à côté du canapé et fermer les yeux. »

Hall d'entrée de l'appartement

E. : « Rouvrez les yeux : vous êtes de retour dans le hall de l'appartement.

- **A combien cotez-vous votre niveau de craving alimentaire de 0 (aucun craving alimentaire ressenti) à 10 (craving alimentaire maximal ressenti) ?**

[Cotation T3]

- **A combien cotez-vous votre niveau d'anxiété de 0 (aucune anxiété ressentie) à 10 (anxiété maximale ressentie) ?**

Vous pouvez maintenant vous positionner maintenant devant la porte de la cuisine pour vite aller préparer de quoi grignoter à l'apéritif. Fermez les yeux. »

Pièce n°4 - Cuisine

« Ouvrez les yeux. Vous êtes dans votre cuisine : en face à vous il y a la table, que voyez-vous ? Vous pouvez vous en approcher.

Maintenant si vous vous retournez, vous verrez derrière vous un grand placard.

Téléportez-vous devant et regardez attentivement ce qu'il y a dans le placard du haut vers le bas.
Et saisissez svp, un par un, le sachet de chips vert, le sachet de chips bleu. Vous les déposerez successivement sur la table, à côté du plateau de fromages.

Ensuite, je vais vous demander d'aller allumer le four. Dites-moi ce que
vous voyez dans le four.

Dirigez-vous maintenant en marche libre vers le frigo américain et ouvrir la porte de gauche pour voir si vous pouvez compléter l'apéritif. Que voyez-vous d'utile ?

Vous pouvez aussi vérifier dans le frigo, porte droite, s'il n'y a pas autre chose pour compléter votre plateau…

[Message vocal d'annulation de l'apéritif]

Qu'avez-vous entendu ?
Je crois que cet apéritif tombe à l'eau finalement. ! Il n'y a plus d'urgence à tout préparer ! Vous pouvez quitter la cuisine, plus rien ne presse dans cette pièce désormais.

Je vous demanderais simplement d'éteindre le four avec votre index en sortant. Placez-vous à l'entrée de la pièce et fermez les yeux. »

Hall d'entrée de l'appartement

E. : « Rouvrez les yeux : vous êtes de retour dans le hall de l'appartement.

- **A combien cotez-vous votre niveau de craving alimentaire de 0 (aucun craving alimentaire ressenti) à 10 (craving alimentaire maximal ressenti) ?**

[Cotation T4]

- **A combien cotez-vous votre niveau d'anxiété de 0 (aucune anxiété ressentie) à 10 (anxiété maximale ressentie) ?**

Cette expérience est désormais terminée, le décor de l'appartement va s'éteindre dans votre casque et être remplacé par le désert étoilé du départ de l'immersion.

Prenez le temps de regarder les étoiles, les aurores boréales, respirez tranquillement. Quand vous serz prête, l'équipe vous aidera à enlever le matériel. »

FIN DE L'IMMERSION

A.2 Annexe 2 : Traduction française du "Bulimia Test" BULIT

BULIMIA TEST – BULIT

Répondez à chaque question aussi honnêtement que possible. Souvenez-vous que tous les renseignements donnés sont strictement confidentiels. Merci. Répondez à chaque question, en entourant la lettre correspondant à votre réponse. Donnez une seule réponse par question.

1. Je suis satisfait(e) de mes habitudes alimentaires				
A_1 - je suis d'accord	B_2 - je n'ai pas d'opinion	C_3 - je ne suis pas tout à fait d'accord	D_4 - je ne suis pas d'accord	E_5 - je suis en désaccord total
2. Vous arrive-t-il de manger de façon incontrôlable au point de vous "goinfrer" ?				
A_1 - jamais, une fois par mois ou moins	B_2 - deux à trois fois par mois	C_3 - une à deux fois par semaine	D_4 - trois à six fois par semaine	E_5 - une fois par jour
3. Vous est-il arrivé de manger jusqu'à éprouver l'impression que vous alliez éclater ?*				
A_5 - pratiquement chaque fois que je mange	B_4 - très fréquemment	C_3 - souvent	D_2 - parfois	E_1 - rarement ou jamais
4. Est-ce que vous vous décririez comme quelqu'un à qui il arrive de manger "jusqu'à n'en plus pouvoir"*				
A_5 - oui, absolument	B_4 - oui	C_3 - oui, probablement	D_2 - oui, peut-être	E_1 - non, probablement pas
5. Je préfère manger*				
A_5 - seul(e) à la maison	B_4 - à la maison, avec d'autres personnes	C_3 - au restaurant	D_2 - chez des amis	E_1 - cela n'a pas d'importance
6. Avez-vous l'impression de pouvoir contrôler la quantité de nourriture que vous consommez ?				
A_1 - la plupart du temps ou tout le temps	B_2 - assez souvent	C_3 - parfois	D_4 - rarement	E_5 - jamais
7. J'utilise des laxatifs ou des suppositoires pour m'aider à contrôler mon poids				
A_0 - une fois par jour ou plus	B_0 - trois à six fois par semaine	C_0 - une à deux fois par semaine	D_0 - deux à trois fois par mois	E_0 - jamais (ou une fois par mois ou moins)
8. Je mange jusqu'à ce que je me sente tellement fatigué(e) que je ne peux pas continuer*				
A_5 - au moins une fois par jour	B_4 - trois à six fois par semaine	C_3 - une à deux fois par semaine	D_2 - deux à trois fois par mois	E_1 - jamais (ou une fois par mois ou moins)
9. Durant un accès de "grande bouffe", préférez-vous manger des aliments sucrés (glaces, crèmes, pâtisseries) ?*				
A_5 - toujours	B_4 - fréquemment	C_3 - parfois	D_2 - rarement ou jamais	E_1 - je n'ai jamais d'accès de "grande bouffe"
10. Vos accès de "grande bouffe" vous préoccupent-ils ?				
A_1 - je ne fais pas de grande bouffe	B_2 - cela me préoccupe un peu	C_3 - cela me préoccupe moyennement	D_4 - cela me préoccupe énormément	E_5 - c'est probablement la plus grande préoccupation de ma vie

11. La plupart des gens que je connais seraient étonnés s'ils savaient ce que je peux manger en une fois*				
A_5 - sans aucun doute	B_4 - très probablement	C_3 - probablement	D_2 - peut-être	E_1 - pas du tout
12. Vous arrive-t-il de manger jusqu'à vous sentir malade ?*				
A_5 - très souvent	B_4 - souvent	C_3 - assez souvent	D_2 - parfois	E_1 - jamais ou rarement
13. J'ai peur de manger quoi que ce soit de crainte de ne pas pouvoir m'arrêter*				
A_5 - toujours	B_4 - presque toujours	C_3 - souvent	D_2 - parfois	E_1 - jamais ou rarement
14. Je m'en veux après avoir trop mangé*				
A_5 - toujours	B_4 - souvent	C_3 - parfois	D_2 - rarement ou jamais	E_1 - je ne mange jamais trop
15. A quelle fréquence vous faites-vous vomir après avoir mangé ?*				
A_5 - deux ou plusieurs fois par semaine	B_4 - une fois par semaine	C_3 - deux à trois fois par mois	D_2 - une fois par mois	E_1 - moins d'une fois par mois ou jamais
16. Laquelle des phrases suivantes décrit le mieux ce que vous ressentez après un accès de "grande bouffe"				
A_1 - je ne fais pas d'accès de grande bouffe	B_2 - je me sens bien	C_3 - je suis légèrement agacé(e) par moi-même	D_4 - je suis très agacé(e) par moi-même	E_5 - je me déteste
17. Je mange beaucoup, même si je n'ai pas faim*				
A_5 - très souvent	B_4 - souvent	C_3 - parfois	D_2 - de temps en temps	E_1 - jamais ou rarement
18. Mes habitudes alimentaires sont différentes de celles de la plupart des gens*				
A_5 - toujours	B_4 - presque toujours	C_3 - fréquemment	D_2 - parfois	E_1 - jamais ou rarement
19. J'ai essayé de perdre du poids en jeûnant ou en faisant des régimes draconiens				
A_1 - jamais au cours de l'année dernière	B_2 - une fois dans le courant de l'année dernière	C_3 - 2 à 3 fois dans le courant de l'année dernière	D_4 - 4 à 5 fois dans le courant de l'année dernière	E_5 - plus de 5 fois dans le courant de l'année dernière
20. Je me sens triste ou cafardeux(se) après avoir mangé plus que je n'en avais l'intention*				
A_5 - toujours	B_4 - presque toujours	C_3 - souvent	D_2 - parfois	E_1 - rarement, jamais ou "cela ne s'applique pas à mon cas"
21. Lorsque je m'adonne à un accès de "grande bouffe", j'ai tendance à manger des aliments riches en glucides (des sucreries ou des féculents)*				
A_5 - toujours	B_4 - presque toujours	C_3 - souvent	D_2 - parfois	E_1 - rarement ou "je ne fais pas d'accès de grande bouffe"

22. Comparée à celle de la plupart des gens, ma capacité à contrôler ce que je mange semble être				
A_1 - plus grande que celle des autres	B_2 - à peu près la même	C_3 - moins grande	D_4 - bien moins grande	E_5 - je n'ai absolument aucune capacité à contrôler
23. L'un ou l'une de vos ami(es) vous propose d'aller manger ensemble au restaurant, un soir : bien que vous ayiez eu l'intention de manger très légèrement chez vous, vous acceptez l'invitation et vous mangez beaucoup, ce qui vous donne l'impression désagréable d'être "plein(e)". Que ressentez-vous sur le chemin du retour ?				
A_1 - je me sens bien et je suis content(e) d'avoir essayé un nouveau restaurant	B_2 - j'ai peu de regret d'avoir tant mangé	C_3 - je me déçois quelque peu	D_4 - je suis agacé(e) par moi-même	E_5 - je me dégoûte totalement
24. Je me décrirais à l'heure actuelle comme mangeant de façon incontrôlable*				
A_5 - absolument	B_4 - oui	C_3 - oui, probablement	D_2 - oui, peut-être	E_1 - non, probablement pas
25. Combien de kilos, au maximum, vous est-il arrivé de perdre en un mois ?*				
A_5 - plus de 9 kg	B_4 - 5 à 9 kg	C_3 - 4 à 8 kg	D_2 - 2 à 3 kg	E_1 - moins de 2 kg
26. Lorsque je mange trop le soir, je me sens déprimé(e) le lendemain matin*				
A_5 - toujours	B_4 - souvent	C_3 - parfois	D_2 - rarement ou jamais	E_1 - je ne mange pas trop le soir
27. Pensez-vous que vous avez plus de facilité à vomir que la plupart des gens ?*				
A_5 - oui, ça m'est extrêmement facile	B_4 - oui, ça m'est plus facile	C_3 - oui, c'est un petit peu plus facile	D_2 - c'est à peu près la même chose	E_1 - non, c'est moins facile
28. J'ai l'impression que ma vie est dominée par la nourriture*				
A_5 - toujours	B_4 - presque toujours	C_3 - souvent	D_2 - parfois	E_1 - rarement ou jamais
29. Immédiatement après avoir trop mangé, je me sens déprimé(e)*				
A_5 - toujours	B_4 - fréquemment	C_3 - parfois	D_2 - rarement ou jamais	E_1 - je ne mange pas trop
30. Après avoir mangé, à quelle fréquence vomissez-vous afin de perdre du poids ?				
A_1 - jamais, ou moins d'une fois par mois	B_2 - une fois par mois	C_3 - deux à trois fois par mois	D_4 - une fois par semaine	E_5 - deux fois par semaine, ou plus souvent
31. A quelle vitesse avez-vous l'habitude de manger lorsque vous consommez de grandes quantités de nourriture ?*				
A_5 - beaucoup plus rapidement que personne ne l'a jamais fait dans sa vie	B_4 - plus vite que la plupart des gens	C_3 - un peu plus vite que la plupart des gens	D_2 - à peu près à la même vitesse que la plupart des gens	E_1 - plus lentement que la plupart des gens, ou cela ne s'applique pas à mon cas

32. Quelle a été votre prise de poids la plus importante en un mois*				
A_5 - plus de 9 kg	B_4 - 5 à 9 kg	C_3 - 3 à 4 kg	D_2 - à peu près 2 kg	E_1 - moins de 2 kg
33. Pour les femmes : vous avez eu vos dernières règles				
A_0 - dans le courant du mois dernier	B_0 - dans le courant des 2 derniers mois	C_0 - il y a à peu près 4 mois	D_0 - il y a à peu près 6 mois	E_0 - il y a plus de 6 mois
34. J'utilise des diurétiques pour m'aider à contrôler mon poids				
A_0 - une fois par jour ou plus	B_0 - 3 à 6 fois par semaine	C_0 - une à 2 fois par semaine	D_0 - 2 à 3 fois par mois	E_0 - jamais (une fois par mois ou moins)
35. Comment comparez-vous votre appétit avec celui de la plupart des gens que vous connaissez ?				
A_5 - bien plus grand que celui de la plupart des gens	B_4 - plus grand	C_3 - un peu plus grand	D_2 - à peu près le même	E_1 - plus faible que la plupart des gens
36. Pour les femmes : mes règles sont régulières une fois par mois				
A_0 – toujours	B_0 – habituellement	C_0 – parfois	D_0 – rarement	E_0 – jamais
SCORE TOTAL	**|__|__|__|/160**			

A.3 Annexe 3 : Traduction française du EDI-2

EDI-2 Eating Disorders Inventory 2

Données - Patiente	
1. Poids actuel :.....	|__|__|__| kg
2. Taille :	|__|__|__| cm
3. Poids le plus élevé dans le passé (à l'exception des grossesses) :.....	|__|__|__| kg
4. Poids le plus bas à l'âge adulte :.....	|__|__|__| kg
5. Quel serait votre poids, à votre avis, si vous n'essayiez pas de le contrôler ?	|__|__|__| kg
6. Quel poids souhaiteriez-vous avoir actuellement ?	|__|__|__| kg
7. À quel âge avez-vous connu vos premiers problèmes de poids (si vous en avez) ?.....	|__|__| ans

Consignes

Les questions portent sur vos attitudes, vos sentiments et votre comportement. Certaines ont trait à la nourriture et à votre comportement alimentaire, et d'autres concernent les sentiments que vous éprouvez à votre sujet. Pour chaque question, décidez si l'affirmation est vraie pour vous…

Toujours, en général, souvent, quelquefois, rarement ou jamais

…et mettez une croix dans la case correspondante. Répondez à toutes les questions, en vous assurant que vous avez placé la croix à la bonne place. N'effacez pas ! Si vous voulez modifier votre réponse, tracez une autre croix sur la bonne réponse et ensuite entourez-la.

	Toujours	**En général**	**Souvent**	**Quelque fois**	**Rare ment**	**Jamais**
1. Je mange des sucreries et des hydrates de carbone sans crainte*.	☐$_0$	☐$_0$	☐$_0$	☐$_1$	☐$_2$	☐$_3$
2. Je trouve mon ventre trop gros.	☐$_3$	☐$_2$	☐$_1$	☐$_0$	☐$_0$	☐$_0$
3. J'aimerais pouvoir recouvrer la sécurité de mon enfance.	☐$_3$	☐$_2$	☐$_1$	☐$_0$	☐$_0$	☐$_0$
4. Je mange quand je suis ému(e) / bouleversé(e) / contrarié(e).	☐$_3$	☐$_2$	☐$_1$	☐$_0$	☐$_0$	☐$_0$
5. Je me gave de nourriture.	☐$_3$	☐$_2$	☐$_1$	☐$_0$	☐$_0$	☐$_0$
6. J'aimerais pouvoir être plus jeune.	☐$_3$	☐$_2$	☐$_1$	☐$_0$	☐$_0$	☐$_0$
7. Je pense à faire un régime alimentaire.	☐$_3$	☐$_2$	☐$_1$	☐$_0$	☐$_0$	☐$_0$
8. J'ai peur quand mes sentiments sont trop intenses.	☐$_3$	☐$_2$	☐$_1$	☐$_0$	☐$_0$	☐$_0$
9. Je trouve mes cuisses trop grosses.	☐$_3$	☐$_2$	☐$_1$	☐$_0$	☐$_0$	☐$_0$
10. Je me sens incapable.	☐$_3$	☐$_2$	☐$_1$	☐$_0$	☐$_0$	☐$_0$
11. Je me sens extrêmement coupable quand j'ai trop mangé.	☐$_3$	☐$_2$	☐$_1$	☐$_0$	☐$_0$	☐$_0$
12. Je trouve que mon ventre est juste à la bonne taille*.	☐$_0$	☐$_0$	☐$_0$	☐$_1$	☐$_2$	☐$_3$

	Toujours	En général	Souvent	Quelque fois	Rare ment	Jamais
13. Seules les performances exceptionnelles sont reconnues dans ma famille.	☐3	☐2	☐1	☐0	☐0	☐0
14. La période la plus heureuse de la vie, c'est quand on est enfant.	☐3	☐2	☐1	☐0	☐0	☐0
15. Je montre ouvertement mes sentiments*.	☐0	☐0	☐0	☐1	☐2	☐3
16. Je très peur de prendre du poids.	☐3	☐2	☐1	☐0	☐0	☐0
17. Je fais confiance aux autres*.	☐0	☐0	☐0	☐1	☐2	☐3
18. Je me sens seul(e) au monde.	☐3	☐2	☐1	☐0	☐0	☐0
19. Je suis satisfait(e) de la forme de mon corps (de ma silhouette)*.	☐0	☐0	☐0	☐1	☐2	☐3
20. Globalement, j'ai le sentiment de maîtriser les choses, dans ma vie*.	☐0	☐0	☐0	☐1	☐2	☐3
21. J'ai de la difficulté à reconnaître mes émotions.	☐3	☐2	☐1	☐0	☐0	☐0
22. Je préfère être un adulte, plutôt qu'enfant*.	☐0	☐0	☐0	☐1	☐2	☐3
23. Je peux facilement communiquer avec autrui*.	☐0	☐0	☐0	☐1	☐2	☐3
24. J'aimerais être quelqu'un d'autre.	☐3	☐2	☐1	☐0	☐0	☐0
25. J'exagère l'importance de mon poids.	☐3	☐2	☐1	☐0	☐0	☐0
26. Je peux clairement identifier les émotions que je ressens*.	☐0	☐0	☐0	☐1	☐2	☐3
27. Je me sens inadéquat(e).	☐3	☐2	☐1	☐0	☐0	☐0
28. J'ai eu des crises de frénésie alimentaire, avec l'impression que je ne pourrais plus jamais m'arrêter.	☐3	☐2	☐1	☐0	☐0	☐0
29. Enfant, je faisais de grands efforts pour ne pas décevoir mes parents et enseignants.	☐3	☐2	☐1	☐0	☐0	☐0
30. J'établis des relations assez proches*.	☐0	☐0	☐0	☐1	☐2	☐3
31. J'aime bien la forme de mes fesses*.	☐0	☐0	☐0	☐1	☐2	☐3
32. Je suis préoccupé(e) par le désir d'être plus mince.	☐3	☐2	☐1	☐0	☐0	☐0
33. Je ne sais pas ce qui se passe en moi.	☐3	☐2	☐1	☐0	☐0	☐0
34. J'ai de la peine à exprimer mes émotions à autrui.	☐3	☐2	☐1	☐0	☐0	☐0
35. Les exigences de l'âge adulte sont trop élevées.	☐3	☐2	☐1	☐0	☐0	☐0
36. Je déteste ne pas être parmi les meilleur(e)s dans tout ce que j'entreprends.	☐3	☐2	☐1	☐0	☐0	☐0

	Toujours	En général	Souvent	Quelque fois	Rare ment	Jamais
37. Je me sens sûr(e) de moi*.	☐0	☐0	☐0	☐1	☐2	☐3
38. Je pense à faire des crises de frénésie alimentaire.	☐3	☐2	☐1	☐0	☐0	☐0
39. Je suis heureux(se) de ne plus être un enfant*.	☐0	☐0	☐0	☐1	☐2	☐3
40. Je ne peux pas savoir clairement si j'ai faim ou non.	☐3	☐2	☐1	☐0	☐0	☐0
41. J'ai une mauvaise opinion de moi-même.	☐3	☐2	☐1	☐0	☐0	☐0
42. J'ai le sentiment de pouvoir réaliser mes ambitions*.	☐0	☐0	☐0	☐1	☐2	☐3
43. Mes parents ont attendu de moi que je réalise d'excellentes performances.	☐3	☐2	☐1	☐0	☐0	☐0
44. J'ai peur de perdre le contrôle de mes sentiments.	☐3	☐2	☐1	☐0	☐0	☐0
45. Je trouve mes hanches trop larges.	☐3	☐2	☐1	☐0	☐0	☐0
46. Je mange modérément en présence des autres et me gave après leur départ.	☐3	☐2	☐1	☐0	☐0	☐0
47. Je me sens bouffi(e) et/ou ballonné(e) après un repas normal.	☐3	☐2	☐1	☐0	☐0	☐0
48. J'ai l'impression que c'est pendant l'enfance que les gens sont le plus heureux.	☐3	☐2	☐1	☐0	☐0	☐0
49. Si je prends 500 grammes, j'ai peur de continuer à prendre du poids.	☐3	☐2	☐1	☐0	☐0	☐0
50. Je me sens quelqu'un de valable*.	☐0	☐0	☐0	☐1	☐2	☐3
51. Quand je suis ému(e), je ne sais plus si je suis triste effrayé(e) ou en colère.	☐3	☐2	☐1	☐0	☐0	☐0
52. Je trouve que je dois faire les choses à la perfection ou pas du tout.	☐3	☐2	☐1	☐0	☐0	☐0
53. J'ai l'idée d'essayer de vomir pour perdre du poids.	☐3	☐2	☐1	☐0	☐0	☐0
54. J'ai besoin de maintenir les autres à une certaine distance (et me sens mal à l'aise si quelqu'un essaye de trop se rapprocher de moi).	☐3	☐2	☐1	☐0	☐0	☐0
55. Je trouve mes cuisses juste à la bonne taille*.	☐0	☐0	☐0	☐1	☐2	☐3
56. Je me sens vide intérieurement (émotionnellement).	☐3	☐2	☐1	☐0	☐0	☐0
57. Je peux évoquer mes pensées ou mes sentiments personnels*.	☐0	☐0	☐0	☐1	☐2	☐3
58. On vit ses meilleures années quand on devient adulte*.	☐0	☐0	☐0	☐1	☐2	☐3
59. Je trouve mes fesses trop grosses.	☐3	☐2	☐1	☐0	☐0	☐0
60. J'ai des sentiments que je ne peux pas identifier tout à fait.	☐3	☐2	☐1	☐0	☐0	☐0

	Toujours	En général	Souvent	Quelque fois	Rare ment	Jamais
61. Je mange ou bois en cachette.	☐3	☐2	☐1	☐0	☐0	☐0
62. Je trouve mes hanches juste à la bonne taille*.	☐0	☐0	☐0	☐1	☐2	☐3
63. Mes objectifs sont extrêmement élevés.	☐3	☐2	☐1	☐0	☐0	☐0
64. Quand je suis ému(e), j'ai peur de me mettre à manger.	☐3	☐2	☐1	☐0	☐0	☐0
65. Les gens que j'aime vraiment finissent pas me décevoir.	☐3	☐2	☐1	☐0	☐0	☐0
66. J'ai honte de mes faiblesses humaines.	☐3	☐2	☐1	☐0	☐0	☐0
67. Les autres diraient que je suis émotionnellement instable.	☐3	☐2	☐1	☐0	☐0	☐0
68.J'aimerais contrôler totalement les besoins de mon corps.	☐3	☐2	☐1	☐0	☐0	☐0
69. Je me sens détendu(e) dans la plupart des situations de groupe*.	☐0	☐0	☐0	☐1	☐2	☐3
70. Je dis des choses impulsivement, et le regrette ensuite.	☐3	☐2	☐1	☐0	☐0	☐0
71. Je me donne beaucoup de mal pour éprouver du plaisir*.	☐0	☐0	☐0	☐1	☐2	☐3
72. Je dois faire attention à ma tendance à abuser de substances telles que des médicaments ou d'autres.	☐3	☐2	☐1	☐0	☐0	☐0
73. Je suis sociable avec la plupart des gens*.	☐0	☐0	☐0	☐1	☐2	☐3
74. Je me sens piégé(e) dans les relations.	☐3	☐2	☐1	☐0	☐0	☐0
75. Les privations que je m'impose me renforcent spirituellement.	☐3	☐2	☐1	☐0	☐0	☐0
76. Les gens comprennent mes vrais problèmes*.	☐0	☐0	☐0	☐1	☐2	☐3
77. Je ne parviens pas à me débarrasser de pensées étranges.	☐3	☐2	☐1	☐0	☐0	☐0
78. Manger pour le plaisir est un signe de faiblesse morale.	☐3	☐2	☐1	☐0	☐0	☐0
79. J'ai tendance à faire des éclats de colère ou de rage.	☐3	☐2	☐1	☐0	☐0	☐0
80. J'ai l'impression que les gens m'accordent l'estime que je mérite*.	☐0	☐0	☐0	☐1	☐2	☐3
81. Je dois faire attention à ma tendance à abuser de l'alcool.	☐3	☐2	☐1	☐0	☐0	☐0
82. Je crois que se détendre n'est qu'une perte de temps.	☐3	☐2	☐1	☐0	☐0	☐0
83. On dit que je m'énerve facilement.	☐3	☐2	☐1	☐0	☐0	☐0
84. J'ai l'impression d'être perdant(e) partout.	☐3	☐2	☐1	☐0	☐0	☐0
85. J'éprouve d'importantes sautes d'humeur.	☐3	☐2	☐1	☐0	☐0	☐0

	Toujours	En général	Souvent	Quelque fois	Rare ment	Jamais
86. Je suis gêné(e) par mes besoins corporels.	☐$_3$	☐$_2$	☐$_1$	☐$_0$	☐$_0$	☐$_0$
87. Je préfèrerais rester seul(e) qu'être en compagnie.	☐$_3$	☐$_2$	☐$_1$	☐$_0$	☐$_0$	☐$_0$
88. La souffrance rend meilleur(e).	☐$_3$	☐$_2$	☐$_1$	☐$_0$	☐$_0$	☐$_0$
89. Je sais qu'on m'aime*.	☐$_0$	☐$_0$	☐$_0$	☐$_1$	☐$_2$	☐$_3$
90. Je me sens poussé(e) à faire du mal aux autres ou à moi-même.	☐$_3$	☐$_2$	☐$_1$	☐$_0$	☐$_0$	☐$_0$
91. J'ai l'impression de vraiment savoir qui je suis*.	☐$_0$	☐$_0$	☐$_0$	☐$_1$	☐$_2$	☐$_3$
Score 1	**|__|__|/18**					
Score 2	**|__|__|/21**					
Score 3	**|__|__|/24**					
Score 4	**|__|__|/30**					
Score 5	**|__|__|/18**					
Score 6	**|__|__|/21**					
Score 7	**|__|__|/27**					
Score 8	**|__|__|/24**					

A.4 Annexe 4 : Traduction française du DEBQ

DEBQ - Dutch Eating Behavior Questionnaire

1. Quand vous êtes irrité(e), avez-vous envie de manger ?					
☐$_1$ Jamais	☐$_2$ Rarement	☐$_3$ Parfois	☐$_4$ Souvent	☐$_5$ Très souvent	☐$_0$ Je ne suis jamais irrité(e)
2. Si vous trouvez un plat savoureux, en mangez-vous plus que d'habitude ?					
☐$_1$ Jamais	☐$_2$ Rarement	☐$_3$ Parfois	☐$_4$ Souvent	☐$_5$ Très souvent	
3. Avez-vous envie de manger lorsque vous n'avez rien à faire ?					
☐$_1$ Jamais	☐$_2$ Rarement	☐$_3$ Parfois	☐$_4$ Souvent	☐$_5$ Très souvent	☐$_0$ J'ai toujours quelque chose à faire
4. Quand vous avez pris un peu de poids, mangez-vous moins que d'habitude ?					
☐$_1$ Jamais	☐$_2$ Rarement	☐$_3$ Parfois	☐$_4$ Souvent	☐$_5$ Très souvent	☐$_0$ Je ne prends jamais de poids
5. Avez-vous envie de manger lorsque vous êtes déprimé(e) ou découragé(e) ?					
☐$_1$ Jamais	☐$_2$ Rarement	☐$_3$ Parfois	☐$_4$ Souvent	☐$_5$ Très souvent	☐$_0$ Je ne suis jamais déprimé(e) ou découragé(e)
6. Si un plat paraît appétissant par son odeur ou son aspect, en mangez-vous plus que d'habitude ?					
☐$_1$ Jamais	☐$_2$ Rarement	☐$_3$ Parfois	☐$_4$ Souvent	☐$_5$ Très souvent	
7. Vous arrive-t-il de refuser de la nourriture ou des boissons que l'on vous offre parce que vous voulez faire attention à votre poids ?					
☐$_1$ Jamais	☐$_2$ Rarement	☐$_3$ Parfois	☐$_4$ Souvent	☐$_5$ Très souvent	
8. Avez-vous envie de manger lorsque vous vous sentez seul(e) ?					
☐$_1$ Jamais	☐$_2$ Rarement	☐$_3$ Parfois	☐$_4$ Souvent	☐$_5$ Très souvent	☐$_0$ Je ne me sens jamais seul(e)
9. Quand vous voyez ou sentez quelque chose d'appétissant, l'envie vous prend-elle de manger ?					
☐$_1$ Jamais	☐$_2$ Rarement	☐$_3$ Parfois	☐$_4$ Souvent	☐$_5$ Très souvent	☐$_0$ Je ne me sens jamais abandonné(e)
10. Quand vous vous sentez abandonné(e), avez-vous envie de manger ?					
☐$_1$ Jamais	☐$_2$ Rarement	☐$_3$ Parfois	☐$_4$ Souvent	☐$_5$ Très souvent	
11. Aux repas, essayez-vous de manger moins que ce que vous auriez envie de manger ?					
☐$_1$ Jamais	☐$_2$ Rarement	☐$_3$ Parfois	☐$_4$ Souvent	☐$_5$ Très souvent	

12. Si vous disposez de quelque chose d'appétissant, le mangez-vous immédiatement ?					
☐$_1$ Jamais	☐$_2$ Rarement	☐$_3$ Parfois	☐$_4$ Souvent	☐$_5$ Très souvent	
13. Quand vous êtes fâché(e), avez-vous envie de manger ?					
☐$_1$ Jamais	☐$_2$ Rarement	☐$_3$ Parfois	☐$_4$ Souvent	☐$_5$ Très souvent	☐$_0$ Je ne suis jamais fâché(e)
14. Surveillez-vous exactement ce que vous mangez ?					
☐$_1$ Jamais	☐$_2$ Rarement	☐$_3$ Parfois	☐$_4$ Souvent	☐$_5$ Très souvent	
15. Lorsque vous passez devant une boulangerie, l'envie vous prend-elle d'acheter quelque chose d'appétissant ?					
☐$_1$ Jamais	☐$_2$ Rarement	☐$_3$ Parfois	☐$_4$ Souvent	☐$_5$ Très souvent	
16. Lorsque quelque chose de désagréable vous attend, avez-vous envie de manger ?					
☐$_1$ Jamais	☐$_2$ Rarement	☐$_3$ Parfois	☐$_4$ Souvent	☐$_5$ Très souvent	
17. Mangez-vous volontairement des nourritures peu caloriques ?					
☐$_1$ Jamais	☐$_2$ Rarement	☐$_3$ Parfois	☐$_4$ Souvent	☐$_5$ Très souvent	
18. Lorsque vous voyez d'autres personnes manger, l'envie vous prend-elle également de manger ?					
☐$_1$ Jamais	☐$_2$ Rarement	☐$_3$ Parfois	☐$_4$ Souvent	☐$_5$ Très souvent	
19. Quand vous avez trop mangez, mangez-vous moins le lendemain que d'habitude ?					
☐$_1$ Jamais	☐$_2$ Rarement	☐$_3$ Parfois	☐$_4$ Souvent	☐$_5$ Très souvent	☐$_0$ Je ne mange jamais trop
20. Avez-vous envie de manger lorsque vous êtes inquiet(e), soucieux(euse) ou tendu(e) ?					
☐$_1$ Jamais	☐$_2$ Rarement	☐$_3$ Parfois	☐$_4$ Souvent	☐$_5$ Très souvent	☐$_0$ Je ne suis jamais inquiet(e), soucieux(euse) ou tendu(e)
21. Pouvez-vous résister à des nourritures délicieuses ?					
☐$_1$ Jamais	☐$_2$ Rarement	☐$_3$ Parfois	☐$_4$ Souvent	☐$_5$ Très souvent	
22. Mangez-vous volontairement un peu moins pour ne pas grossir ?					
☐$_1$ Jamais	☐$_2$ Rarement	☐$_3$ Parfois	☐$_4$ Souvent	☐$_5$ Très souvent	
23. Quand quelque chose vous contrarie ou ne se déroule pas comme vous le souhaitiez, avez-vous envie de manger ?					
☐$_1$ Jamais	☐$_2$ Rarement	☐$_3$ Parfois	☐$_4$ Souvent	☐$_5$ Très souvent	
24. Si vous passez devant un snack-bar ou un café, avez-vous envie d'entrer prendre quelque chose de bon ?					
☐$_1$ Jamais	☐$_2$ Rarement	☐$_3$ Parfois	☐$_4$ Souvent	☐$_5$ Très souvent	

25. Lorsque vous êtes énervé(e), avez-vous envie de manger ?					
☐$_1$ Jamais	☐$_2$ Rarement	☐$_3$ Parfois	☐$_4$ Souvent	☐$_5$ Très souvent	☐$_0$ Je ne suis jamais énervé(e)
26. Essayez-vous de ne pas manger entre les repas parce que vous surveillez votre poids ?					
☐$_1$ Jamais	☐$_2$ Rarement	☐$_3$ Parfois	☐$_4$ Souvent	☐$_5$ Très souvent	
27. Mangez-vous plus que d'habitude en voyant d'autres gens manger ?					
☐$_1$ Jamais	☐$_2$ Rarement	☐$_3$ Parfois	☐$_4$ Souvent	☐$_5$ Très souvent	
28. Avez-vous envie de manger quand vous vous ennuyez ou quand vous ne tenez pas en place ?					
☐$_1$ Jamais	☐$_2$ Rarement	☐$_3$ Parfois	☐$_4$ Souvent	☐$_5$ Très souvent	☐$_0$ Je ne m'ennuie jamais ou je suis toujours calme.
29. Pendant la soirée, essayez-vous de ne pas manger parce que vous surveillez votre poids ?					
☐$_1$ Jamais	☐$_2$ Rarement	☐$_3$ Parfois	☐$_4$ Souvent	☐$_5$ Très souvent	
30. Quand vous êtes anxieux(euse), avez-vous envie de manger ?					
☐$_1$ Jamais	☐$_2$ Rarement	☐$_3$ Parfois	☐$_4$ Souvent	☐$_5$ Très souvent	☐$_0$ Je ne suis jamais anxieux(euse)
31. Lorsque vous mangez, tenez-vous compte de votre poids ?					
☐$_1$ Jamais	☐$_2$ Rarement	☐$_3$ Parfois	☐$_4$ Souvent	☐$_5$ Très souvent	
32. Lorsque vous êtes déçu(e), avez-vous envie de manger ?					
☐$_1$ Jamais	☐$_2$ Rarement	☐$_3$ Parfois	☐$_4$ Souvent	☐$_5$ Très souvent	
33. Quand vous préparez un repas, avez-vous tendance à manger quelque chose ?					
☐$_1$ Jamais	☐$_2$ Rarement	☐$_3$ Parfois	☐$_4$ Souvent	☐$_5$ Très souvent	
Score 1				**|__|___|/50**	
Score 2				**|__|___|/65**	
Score 3				**|__|___|/50**	

A.5 Annexe 5 : Traduction française de la MAIA

MAIA - Multidimensional Assessment of Interoceptive Awareness

Vous trouverez ci-dessous une liste de propositions. Merci de bien vouloir indiquer la fréquence à laquelle chacune de ces propositions s'applique à vous, de façon générale, dans votre vie de tous les jours.

L'échelle de réponse va de 0 (pour "jamais") à 5 (pour "toujours")

	Jamais					**Toujours**
1. Lorsque je suis tendue, je perçois où la tension se situe dans mon corps.	☐0	☐1	☐2	☐3	☐4	☐5
2. Lorsque je me sens mal dans mon corps, je le remarque.	☐0	☐1	☐2	☐3	☐4	☐5
3. J'identifie/je remarque à quel endroit de mon corps je me sens confortable.	☐0	☐1	☐2	☐3	☐4	☐5
4. Je perçois les changements dans ma respiration, par exemple lorsqu'elle ralentit ou accélère	☐0	☐1	☐2	☐3	☐4	☐5
5. Je ne perçois pas (j'ignore) les tensions physiques ou l'inconfort jusqu'à ce qu'ils ne deviennent sévères*.	☐0	☐1	☐2	☐3	☐4	☐5
6. Je me détache des sensations d'inconfort*.	☐0	☐1	☐2	☐3	☐4	☐5
7. Lorsque je ressens de la douleur ou de l'inconfort, je m'efforce de les surmonter*.	☐0	☐1	☐2	☐3	☐4	☐5
8. Lorsque je ressens une douleur physique, cela me stresse*.	☐0	☐1	☐2	☐3	☐4	☐5
9. Je commence à me soucier que quelque chose n'aille pas dès que je ressens le moindre inconfort*.	☐0	☐1	☐2	☐3	☐4	☐5
10. Je peux percevoir une sensation corporelle déplaisante sans m'en inquiéter.	☐0	☐1	☐2	☐3	☐4	☐5
11. Je peux prêter attention à ma respiration sans être distrait par les choses qui arrivent autour de moi.	☐0	☐1	☐2	☐3	☐4	☐5
12. Je peux rester conscient de mes sensations corporelles intérieures même lorsqu'il se passe beaucoup de choses autour de moi.	☐0	☐1	☐2	☐3	☐4	☐5
13. Lorsque je suis en conversation avec quelqu'un, je peux porter attention à ma posture.	☐0	☐1	☐2	☐3	☐4	☐5
14. Je peux rediriger mon attention sur mon corps si je suis distrait.	☐0	☐1	☐2	☐3	☐4	☐5
15. Je peux détourner mon attention de mes pensées pour la tourner vers mon corps (vers mes sensations corporelles).	☐0	☐1	☐2	☐3	☐4	☐5
16. Je peux conserver la conscience de l'ensemble de mon corps même lorsqu'une partie de moi-même éprouve de la douleur ou de l'inconfort.	☐0	☐1	☐2	☐3	☐4	☐5
17. Je suis capable de focaliser mes pensées de façon consciente sur mon corps dans son entier.	☐0	☐1	☐2	☐3	☐4	☐5
18. Je perçois comment mon corps change lorsque je suis en colère.	☐0	☐1	☐2	☐3	☐4	☐5
19. Lorsque quelque chose ne va pas dans ma vie, je peux le ressentir dans mon corps.	☐0	☐1	☐2	☐3	☐4	☐5
20. Je remarque que mes sensations corporelles changent après une expérience apaisante.	☐0	☐1	☐2	☐3	☐4	☐5

	Jamais					Toujours
21. Je perçois que ma respiration devient dégagée et aisée lorsque je me sens confortable.	☐0	☐1	☐2	☐3	☐4	☐5
22. Je perçois comment mon corps change lorsque je me sens heureux/joyeux.	☐0	☐1	☐2	☐3	☐4	☐5
23. Lorsque je me sens débordé, je peux trouver un endroit calme à l'intérieur de moi.	☐0	☐1	☐2	☐3	☐4	☐5
24. Lorsque je prends conscience de mon corps, je ressens une sensation de calme.	☐0	☐1	☐2	☐3	☐4	☐5
25. Je peux utiliser ma respiration pour réduire la tension.	☐0	☐1	☐2	☐3	☐4	☐5
26. Lorsque je suis pris dans mes pensées, je peux calmer mon esprit en me concentrant sur mon corps / sur ma respiration.	☐0	☐1	☐2	☐3	☐4	☐5
27. Je suis à l'écoute de mon corps concernant mon état émotionnel.	☐0	☐1	☐2	☐3	☐4	☐5
28. Lorsque je suis stressé, je prends le temps d'explorer comment mon corps se sent.	☐0	☐1	☐2	☐3	☐4	☐5
29. J'écoute mon corps afin de m'informer sur ce que je dois faire.	☐0	☐1	☐2	☐3	☐4	☐5
30. Je suis chez moi dans mon corps.	☐0	☐1	☐2	☐3	☐4	☐5
31. Je sens que mon corps est un endroit sûr.	☐0	☐1	☐2	☐3	☐4	☐5
32. Je fais confiance à mes sensations corporelles.	☐0	☐1	☐2	☐3	☐4	☐5

Score 1 :	**Moyenne : |__|,|__|__|/5**	**Z-score : |__|,|__|__|**
Score 2 :	**Moyenne : |__|,|__|__|/5**	**Z-score : |__|,|__|__|**
Score 3 :	**Moyenne : |__|,|__|__|/5**	**Z-score : |__|,|__|__|**
Score 4 :	**Moyenne : |__|,|__|__|/5**	**Z-score : |__|,|__|__|**
Score 5 :	**Moyenne : |__|,|__|__|/5**	**Z-score : |__|,|__|__|**
Score 6 :	**Moyenne : |__|,|__|__|/5**	**Z-score : |__|,|__|__|**
Score 7 :	**Moyenne : |__|,|__|__|/5**	**Z-score : |__|,|__|__|**
Score 8 :	**Moyenne : |__|,|__|__|/5**	**Z-score : |__|,|__|__|**

A.6 Annexe 6 : Traduction française de l'UPPS

UPSS – Impulsive Behavior Scale

Vous trouverez ci-dessous un certain nombre d'énoncés décrivant des manières de se comporter ou de penser.
Pour chaque affirmation, veuillez indiquer à quel degré vous êtes d'accord ou non avec l'énoncé :
- Si vous êtes **Tout à fait d'accord** avec l'affirmation encerclez le chiffre **1**,
- Si vous êtes **Plutôt d'accord** encerclez le chiffre **2**,
- Si vous êtes **Plutôt en désaccord** encerclez le chiffre **3**,
- Si vous êtes **Tout à fait en désaccord** encerclez le chiffre **4**.

Assurez-vous que vous avez indiqué votre accord ou désaccord pour chaque énoncé ci-dessous.
Il y a encore d'autres énoncés sur la page suivante.

	Tout à fait d'accord	Plutôt d'accord	Plutôt en désaccord	Tout à fait en désaccord
1. J'ai une attitude réservée et prudente dans la vie.	**1**	**2**	**3**	**4**
2. J'ai des difficultés à contrôler mes impulsions*.	**1**	**2**	**3**	**4**
3. Je recherche généralement des expériences et sensations nouvelles et excitantes*.	**1**	**2**	**3**	**4**
4**. Je préfère généralement mener les choses jusqu'au bout.**	**1**	**2**	**3**	**4**
5. Ma manière de penser est d'habitude réfléchie et méticuleuse.	**1**	**2**	**3**	**4**
6. J'ai des difficultés à résister à mes envies (pour la nourriture, les cigarettes, etc.)*.	**1**	**2**	**3**	**4**
7. J'essayerais tout*.	**1**	**2**	**3**	**4**
8. J'ai tendance à abandonner facilement*.	**1**	**2**	**3**	**4**
9. Je ne suis pas de ces gens qui parlent sans réfléchir.	**1**	**2**	**3**	**4**
10. Je m'implique souvent dans des situations dont j'aimerais pouvoir me sortir par la suite*.	**1**	**2**	**3**	**4**
11. J'aime les sports et les jeux dans lesquels on doit choisir son prochain mouvement très rapidement*.	**1**	**2**	**3**	**4**
12. Je n'aime vraiment pas les tâches inachevées.	**1**	**2**	**3**	**4**
13. Je préfère m'interrompre et réfléchir avant d'agir.	**1**	**2**	**3**	**4**
14. Quand je ne me sens pas bien, je fais souvent des choses que je regrette ensuite, afin de me sentir mieux tout de suite*.	**1**	**2**	**3**	**4**
15. Ça me plairait de faire du ski nautique*.	**1**	**2**	**3**	**4**
16. Une fois que je commence quelque chose je déteste m'interrompre.	**1**	**2**	**3**	**4**
17. Je n'aime pas commencer un projet avant de savoir exactement comment procéder	**1**	**2**	**3**	**4**

	Tout à fait d'accord	Plutôt d'accord	Plutôt en désaccord	Tout à fait en désaccord
18. Parfois quand je ne me sens pas bien, je ne parviens pas à arrêter ce que je suis en train de faire même si cela me fait me sentir plus mal*.	**1**	**2**	**3**	**4**
19. J'éprouve du plaisir à prendre des risques*.	**1**	**2**	**3**	**4**
20. Je me concentre facilement.	**1**	**2**	**3**	**4**
21. J'aimerais faire du saut en parachute*.	**1**	**2**	**3**	**4**
22. J'achève ce que je commence.	**1**	**2**	**3**	**4**
23. J'ai tendance à valoriser et à suivre une approche rationnelle et « sensée » des choses.	**1**	**2**	**3**	**4**
24. Quand je suis contrarié(e), j'agis souvent sans réfléchir*.	**1**	**2**	**3**	**4**
25. Je me réjouis des expériences et sensations nouvelles même si elles sont un peu effrayantes et non-conformistes*.	**1**	**2**	**3**	**4**
26. Je m'organise de façon à ce que les choses soient faites à temps.	**1**	**2**	**3**	**4**
27. D'habitude je me décide après un raisonnement bien mûri.	**1**	**2**	**3**	**4**
28. Quand je me sens rejeté(e), je dis souvent des choses que je regrette ensuite*.	**1**	**2**	**3**	**4**
29. J'aimerais apprendre à conduire un avion*.	**1**	**2**	**3**	**4**
30. Je suis une personne productive qui termine toujours son travail.	**1**	**2**	**3**	**4**
31. Je suis une personne prudente.	**1**	**2**	**3**	**4**
32. C'est difficile pour moi de me retenir d'agir selon mes sentiments*.	**1**	**2**	**3**	**4**
33. J'aime parfois faire des choses qui sont un petit peu effrayantes*.	**1**	**2**	**3**	**4**
34. Une fois que je commence un projet, je le termine presque toujours.	**1**	**2**	**3**	**4**
35. Avant de m'impliquer dans une nouvelle situation, je préfère savoir ce que je dois en attendre.	**1**	**2**	**3**	**4**
36. J'aggrave souvent les choses parce que j'agis sans réfléchir quand je suis contrarié(e)*.	**1**	**2**	**3**	**4**
37. J'aimerais la sensation de skier très vite sur des pentes raides*.	**1**	**2**	**3**	**4**
38. Il y a tant de petites tâches qui doivent être faites que parfois je les ignore simplement toutes*.	**1**	**2**	**3**	**4**
39. D'habitude je réfléchis soigneusement avant de faire quoi que ce soit.	**1**	**2**	**3**	**4**
40. Avant de me décider, je considère tous les avantages et inconvénients.	**1**	**2**	**3**	**4**
41. Quand la discussion s'échauffe, je dis souvent des choses que je regrette ensuite*.	**1**	**2**	**3**	**4**
42. J'aimerais aller faire de la plongée sous--marine*.	**1**	**2**	**3**	**4**

	Tout à fait d'accord	Plutôt d'accord	Plutôt en désaccord	Tout à fait en désaccord
43. Je suis toujours capable de maîtriser mes émotions.	**1**	**2**	**3**	**4**
44. J'aimerais conduire vite*.	**1**	**2**	**3**	**4**
45. Parfois je fais des choses sur un coup de tête que je regrette par la suite*.	**1**	**2**	**3**	**4**
Score 1 :.....	**|__|__|/48**			
Score 2 :.....	**|__|__|/44**			
Score 3 :.....	**|__|__|/40**			
Score 4 :.....	**|__|__|/48**			

A.7 Annexe 7 : Traduction française de la DERS

DERS – Difficulties in Emotion Regulation Scale

Le DERS est une échelle permettant d'évaluer à quel point vous êtes attentifs à vos émotions dans la vie de tous les jours, à quel point vous utilisez les informations que vos émotions vous donnent et comment vous réagissez de manière générale.

Répondez à toutes les questions en entourant à chaque fois un seul chiffre par énoncé selon si celui-ci vous correspond : **(1) presque jamais, (2) quelques fois, (3) la moitié du temps, (4) la plupart du temps, (5) presque toujours**

	Presque jamais	**Quelques fois**	**La moitié du temps**	**La plupart du temps**	**Presque toujours**
1. Je comprends bien mes sentiments	☐5	☐4	☐3	☐2	☐1
2. Je fais attention à ce que je ressens	☐1	☐2	☐3	☐4	☐5
3. Les expériences émotionnelles me submergent et sont incontrôlables	☐5	☐4	☐3	☐2	☐1
4. Je n'ai aucune idée concernant comment je me sens	☐5	☐4	☐3	☐2	☐1
5. J'ai des difficultés à donner un sens à mes sentiments	☐5	☐4	☐3	☐2	☐1
6. Je fais attention à mes sentiments	☐1	☐2	☐3	☐4	☐5
7. Je sais exactement comment je me sens	☐5	☐4	☐3	☐2	☐1
8. Je prends garde à ce que je ressens	☐1	☐2	☐3	☐4	☐5
9. Je suis déconcerté(e) par ce que je ressens	☐5	☐4	☐3	☐2	☐1
10. Quand je suis contrarié(e), je prends en compte cette émotion	☐1	☐2	☐3	☐4	☐5
11. Quand je suis contrarié(e), le fait de ressentir une telle émotion me met en colère contre moi-même	☐1	☐2	☐3	☐4	☐5
12. Quand je suis contrarié(e), je suis embarrassé(e) de ressentir une telle émotion	☐1	☐2	☐3	☐4	☐5
13. Quand je suis contrarié(e), j'ai de la difficulté à terminer un travail	☐1	☐2	☐3	☐4	☐5
14. Quand je suis contrarié(e), je deviens incontrôlable	☐1	☐2	☐3	☐4	☐5
15. Quand je suis contrarié(e), je crois que je vais rester comme ça très longtemps	☐5	☐4	☐3	☐2	☐1
16. Quand je suis contrarié(e), je crois que je vais bientôt me sentir très déprimé(e)*	☐1	☐2	☐3	☐4	☐5
17. Quand je suis contrarié(e), je crois que mes sentiments sont valables et importants	☐1	☐2	☐3	☐4	☐5
18. Quand je suis contrarié(e), j'ai des difficultés à me concentrer sur d'autres choses	☐1	☐2	☐3	☐4	☐5
19. Quand je suis contrarié(e), je me sens incontrôlable	☐5	☐4	☐3	☐2	☐1
20. Quand je suis contrarié(e), je peux continuer à faire des choses	☐5	☐4	☐3	☐2	☐1

	Presque jamais	Quelques fois	La moitié du temps	La plupart du temps	Presque toujours
21. Quand je suis contrarié(e), j'ai honte de ressentir une telle émotion	☐1	☐2	☐3	☐4	☐5
22. Quand je suis contrarié(e), je sais que je peux trouver un moyen pour enfin aller mieux	☐5	☐4	☐3	☐2	☐1
23. Quand je suis contrarié(e), je me sens désarmé(e)	☐1	☐2	☐3	☐4	☐5
24. Quand je suis contrarié(e), je sens que je peux garder le contrôle de mes comportements	☐5	☐4	☐3	☐2	☐1
25. Quand je suis contrarié(e), je me sens coupable de ressentir une telle émotion	☐1	☐2	☐3	☐4	☐5
26. Quand je suis contrarié(e), j'ai des difficultés à me concentrer	☐1	☐2	☐3	☐4	☐5
27. Quand je suis contrarié(e), j'ai des difficultés à contrôler mon comportement	☐5	☐4	☐3	☐2	☐1
28. Quand je suis contrarié(e), je crois qu'il n'y a rien que je puisse faire pour me sentir mieux	☐5	☐4	☐3	☐2	☐1
29. Quand je suis contrarié(e), je m'en veux de ressentir une telle émotion	☐1	☐2	☐3	☐4	☐5
30. Quand je suis contrarié(e), je me sens vraiment mal	☐5	☐4	☐3	☐2	☐1
31. Quand je suis contrarié(e), je pense que me complaire dans ces contrariétés est la seule chose à faire	☐5	☐4	☐3	☐2	☐1
32. Quand je suis contrarié(e), je perds le contrôle de mes comportements	☐1	☐2	☐3	☐4	☐5
33. Quand je suis contrarié(e), j'ai des difficultés à penser à autre chose	☐5	☐4	☐3	☐2	☐1
34. Quand je suis contrarié(e), je prends le temps de découvrir ce que je ressens vraiment	☐5	☐4	☐3	☐2	☐1
35. Quand je suis contrarié(e), cela prend du temps avant que je ne me sente mieux	☐5	☐4	☐3	☐2	☐1
36. Quand je suis contrarié(e), mes émotions prennent le dessus	☐5	☐4	☐3	☐2	☐1
Score 1 :.....	**|__|__|/30**				
Score 2 :.....	**|__|__|/25**				
Score 3 :.....	**|__|__|/30**				
Score 4 :.....	**|__|__|/30**				
Score 5 :.....	**|__|__|/25**				
Score 6 :.....	**|__|__|/40**				
SCORE TOTAL :	**|__|__|__|/180**				

A.8 Annexe 8 : Traduction française de l'YFAS 2.0

YFAS 2.0 - Yale Food Addiction Scale 2.0

Consignes pour remplir le questionnaire:
Ce questionnaire porte sur vos habitudes alimentaires de **l'année passée.** Pour chaque question, merci d'entourer le chiffre (0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, ou 7) qui correspond le mieux à vos habitudes alimentaires des 12 derniers mois. Les gens ont parfois du mal à contrôler la quantité de nourriture qu'ils peuvent manger comme par exemple:

- Les aliments sucrés comme les glaces ou les crèmes glacées, le chocolat, les beignets, les biscuits, les gateaux et les bonbons
- Les féculents comme le pain, le pain de mie, les sandwichs, les pâtes et le riz
- Les aliments salés comme les chips, les bretzels et les biscuits aperitifs
- Les aliments gras comme le steak, les charcuteries, le bacon, les hamburgers, les cheeseburgers, les fromages, les pizzas et les frites
- Les boissons sucrées comme le soda, la limonade et les boissons énergétiques

Pour les questions suivantes, l'expression « CERTAINS ALIMENTS » sera utilisée. Dans ce cas, merci de penser à TOUT aliment ou boisson indiqué(e) dans la liste ci-dessus ou à TOUT AUTRE(S) aliment(s) qui vous a (ont) posé un problème au cours de **l'année passé.**

Au cours des 12 derniers mois	Jamais	Moins 1 fois/ mois	1 fois/ mois	2 à 3 fois/ mois	1 fois/ semaine	2 à 3 fois/ semaine	4 à 6 fois/ semaine	Tous les jours
1. Lorsque j'ai commencé à manger certains aliments, j'en ai mangé beaucoup plus que prévu.	0	1	2	3	4	5	6	7
2. Il m'est arrivé(e) de continuer à manger certains aliments même lorsque je n'avais plus faim.	0	1	2	3	4	5	6	7
3. J'ai mangé jusqu'à me sentir « mal » physiquement.	0	1	2	3	4	5	6	7
4. J'ai été très inquièt(e) à l'idée de diminuer ma consommation de certains types d'aliments, mais j'ai continué à en manger.	0	1	2	3	4	5	6	7
5. J'ai passé beaucoup de temps à me sentir endormi(e) ou fatigué(e) après avoir trop mangé.	0	1	2	3	4	5	6	7
6. J'ai passé beaucoup de temps à manger certains aliments au cours de la journée.	0	1	2	3	4	5	6	7
7. Lorsque je n'avais pas certains aliments à ma disposition, j'ai fait des efforts pour en acheter. Par exemple, je suis allée dans un magasin pour acheter ces aliments alors que j'avais d'autres aliments à la maison.	0	1	2	3	4	5	6	7
8. J'ai mangé certains aliments si souvent ou en si grande quantité que j'ai arrêté de faire d'autres choses importantes, comme par exemple travailler ou passer du temps avec ma famille ou mes amis.	0	1	2	3	4	5	6	7
9. J'ai eu des problèmes avec ma famille ou mes amis à cause de la quantité de nourriture que je mange.	0	1	2	3	4	5	6	7
10. J'ai évité certaines activités au travail, à l'école ou certaines activités sociales par peur de manger trop dans ces situations.	0	1	2	3	4	5	6	7

Au cours des 12 derniers mois	Jamais	Moins 1 fois/ mois	1 fois/ mois	2 à 3 fois/ mois	1 fois/ semaine	2 à 3 fois/ semaine	4 à 6 fois/ semaine	Tous les jours
11. Lorsque j'ai diminué ou arrêté ma consommation de certains aliments, je me suis senti(e) irritable, stressé(e) ou triste.	**0**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**
12. Lorsque j'ai diminué ou arrêtée ma consommation de certains aliments et que j'ai eu des symptômes physiques, j'ai mangé ces aliments pour me sentir mieux.	**0**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**
13. Lorsque j'ai diminué ou arrêté ma consommation de certains aliments et que je me suis senti(e) irritable, stressé(e) ou triste, j'ai mangé ces aliments pour me sentir mieux.	**0**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**
14. Lorsque j'ai diminué ou arrêté ma consommation de certains aliments, j'ai eu des symptômes physiques, comme par exemple des maux de tête ou de la fatigue.	**0**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**
15. Lorsque j'ai diminué ou arrêté ma consommation de certains aliments, j'ai constaté que j'avais un besoin plus important ou une envie irrésistible de manger ces aliments.	**0**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**
16. Mon comportement vis-à-vis de la nourriture et de l'alimentation a été source de souffrance.	**0**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**
17. J'ai eu beaucoup de problèmes dans ma vie à cause de la nourriture et de l'alimentation, comme par exemple des problèmes pour gérer le quotidien, des problèmes au travail, à l'école, avec la famille ou encore des problèmes de santé.	**0**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**
18. Des fois, je me suis senti(e) si mal à cause de mon alimentation excessive que cela m'a empêché de faire des choses importantes comme travailler ou passer du temps avec mes amis ou ma famille.	**0**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**
19. Mon alimentation excessive m'a empêché(e) de m'occuper correctement de ma famille ou de faire des tâches ménagères.	**0**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**
20. J'ai évité des opportunités professionnelles ou relationnelles parce que je ne pouvais pas manger certains aliments dans ces situations.	**0**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**
21. J'ai évité certaines activités sociales car dans ces situations, certaines personnes n'étaient pas d'accord avec la quantité de nourriture que je pouvais manger.	**0**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**
22. J'ai continué à manger le(s) même(s) type(s) d'aliment(s) ou la même quantité de nourriture bien que cela ait été responsable de problèmes psychologiques.	**0**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**
23. J'ai continué à manger le(s) même(s) type(s) d'aliment(s) ou la même quantité de nourriture bien que cela ait été responsable de problèmes physiques.	**0**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**
24. Le fait de manger la même quantité de nourriture qu'avant ne me donne plus le même plaisir qu'avant .	**0**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**

Au cours des 12 derniers mois	Jamais	Moins 1 fois/ mois	1 fois/ mois	2 à 3 fois/ mois	1 fois/ semaine	2 à 3 fois/ semaine	4 à 6 fois/ semaine	Tous les jours
25. J'ai vraiment voulu diminuer ou arrêter ma consommation de certains aliments, je n'y suis pas arrivée.	**0**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**
26. J'ai eu besoin de manger de plus en plus pour avoir le même effet qu'avant, comme par exemple avoir moins de stress, avoir moins de tristesse ou avoir plus de plaisir.	**0**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**
27. Je n'ai pas réussi correctement au travail ou à l'école car je mangeais trop.	**0**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**
28. J'ai continué à manger certains aliments même si je savais que c'était dangereux pour ma santé physique. Par exemple, j'ai continué à manger des bonbons alors que je savais que j'avais du diabète, ou j'ai continué à manger des aliments gras alors que je savais que j'avais des problèmes cardiaques.	**0**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**
29. J'ai eu des envies si fortes pour certains aliments que je ne pouvais plus penser à autre chose.	**0**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**
30. J'ai eu des envies si fortes pour certains aliments que c'était comme si je devais absolument les manger tout de suite.	**0**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**
31. J'ai essayé de diminuer ou d'arrêter ma consommation de certains aliments, mais je n'ai pas réussi.	**0**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**
32. J'ai essayé mais je n'ai pas réussi à diminuer ou à arrêter de manger certains aliments.	**0**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**
33. En mangeant, il m'est arrivée d'être tellement inattentive que j'aurais pu être blessé(e) (par exemple en conduisant une voiture, en traversant la rue ou en utilisant une machine ou un instrument dangereux).	**0**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**
34. En pensant à la nourriture et à l'alimentation, il m'est arrivé d'être tellement inattentif (inattentive) que j'aurais pu être blessé(e) (par exemple en conduisant une voiture, en traversant la rue ou en utilisant une machine ou un instrument dangereux).	**0**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**
35. Mes amis et ma famille ont été inquiets de la quantité de nourriture que je pouvais manger.	**0**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**

Score 1 :.....	**|__|__|/21**
Score 2 :.....	**|__|__|/28**
Score 3 :.....	**|__|__|/21**
Score 4 :.....	**|__|__|/28**
Score 5 :.....	**|__|__|/14**
Score 6 :.....	**|__|__|/14**
Score 7 :.....	**|__|__|/35**
Score 8 :.....	**|__|__|/21**
Score 9 :.....	**|__|__|/14**
Score 10 :.....	**|__|__|/21**
Score 11 :.....	**|__|__|/14**
Score 12 :.....	**|__|__|/14**

Item optionnel n°1. Merci d'entourer TOUS les aliments pour lesquels vous avez eu des problèmes (c'est-à-dire des difficultés à en contrôler la consommation).

Glaces/Crèmes glacées	**Chocolat**	**Pommes**	**Beignets**	**Brocolis**	**Biscuits**
Gâteaux	**Bonbons**	**Pain**	**Pain de mie**	**Sandwichs**	**Laitues**
Pâtes	**Fraises**	**Riz**	**Chips**	**Bretzels**	**Biscuits apéritifs**
Carottes	**Steak**	**Charcuteries**	**Bananes**	**Bacon**	**Hamburgers**
Cheeseburgers	**Fromages**	**Pizzas**	**Frites**	**Sodas**	**Aucun de ces aliments**

Item optionnel n°2. Merci d'indiquer ici s'il y a d'autre(s) aliment(s) pour lesquels vous avez des problèmes (c'est-à-dire des difficultés à en contrôler la consommation). Merci d'indiquer uniquement les aliments qui ne sont pas dans le liste ci-dessus.

……
……
……
……

Items#1 et #2 are optionals, and are not present in the US version of the YFAS 2.0. These 2 items are not used in the determination of the food addiction diagnosis nor in the calculation of the number of food addiction symptoms endorsed, but we included them here because they were in the original YFAS and they help to determine which types of food are problematic.

A.9 Annexe 9 : Traduction française de la FCQ-T-r

FCQ-Tr - Food Cravings Questionnaire-Trait-reduced

Merci d'indiquer pour chaque question la réponse qui correspond le mieux à votre état actuel (entourer).
(1) Jamais (ou non concerné), (2) Rarement, (3) Parfois, (4) Souvent, (5) Très souvent, (6) Toujours

	Jamais (ou non concerné)	Rare ment	Parfois	Souvent	Très souvent	Toujours
1. Lorsque j'ai une envie irrésistible de manger un aliment en particulier, je sais que je ne pourrai plus m'arrêter de manger une fois que j'aurai commencé.	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
2. Si je mange des aliments dont j'ai très envie, je perds souvent le contrôle et j'en mange trop.	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
3. Quand j'ai des envies irrésistibles de manger, je pense systématiquement à des moyens de me procurer ce que je veux manger.	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
4. J'ai l'impression de penser constamment à la nourriture.	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
5. Je suis préoccupé(e) par la nourriture.	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
6. À chaque fois que j'ai une envie irrésistible de manger certains aliments, je me demande comment faire pour en manger.	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
7. J'ai une envie irrésistible de manger lorsque je m'ennuie, lorsque je me sens en colère ou triste.	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
8. Je n'ai aucune volonté pour résister à mes envies irrésistibles de manger.	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
9. Quand je commence à manger, j'ai du mal à m'arrêter.	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
10. J'ai beau m'efforcer à ne pas penser au fait de manger, je n'y arrive pas.	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
11. Si je cède à une envie irrésistible de manger, je perds tout contrôle.	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
12. À chaque fois que j'ai une envie irrésistible de manger, je continue à y penser jusqu'à ce que je mange réellement.	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
13. Si j'ai une envie irrésistible de manger quelque chose, les pensées de nourriture m'envahissent.	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**

14. Mes émotions me poussent souvent à vouloir manger.	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
15. Il m'est difficile de résister à la tentation de manger des aliments appétissants lorsqu'ils sont à ma disposition.	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
SCORE TOTAL	**|__|__|/90**					

A.10 Annexe 10 : Traduction française du SSQ

EVALUATION DES SYMPTOMES DE CYBER-SICKNESS

Consignes : Encerclez à quel point chaque symptôme ci-dessous vous affecte <u>présentement</u>.				
1. Inconfort général	Pas du tout $_0$	Un peu $_1$	Modérément $_2$	Sévèrement $_3$
2. Fatigue	Pas du tout $_0$	Un peu $_1$	Modérément $_2$	Sévèrement $_3$
3. Mal de tête	Pas du tout $_0$	Un peu $_1$	Modérément $_2$	Sévèrement $_3$
4. Fatigue des yeux	Pas du tout $_0$	Un peu $_1$	Modérément $_2$	Sévèrement $_3$
5. Difficulté à faire le focus	Pas du tout $_0$	Un peu $_1$	Modérément $_2$	Sévèrement $_3$
6. Augmentation de la salivation	Pas du tout $_0$	Un peu $_1$	Modérément $_2$	Sévèrement $_3$
7. Transpiration	Pas du tout $_0$	Un peu $_1$	Modérément $_2$	Sévèrement $_3$
8. Nausées	Pas du tout $_0$	Un peu $_1$	Modérément $_2$	Sévèrement $_3$
9. Difficulté à se concentrer	Pas du tout $_0$	Un peu $_1$	Modérément $_2$	Sévèrement $_3$
10. Impression de lourdeur dans la tête	Pas du tout $_0$	Un peu $_1$	Modérément $_2$	Sévèrement $_3$
11. Vision embrouillée	Pas du tout $_0$	Un peu $_1$	Modérément $_2$	Sévèrement $_3$
12. Étourdissement les yeux ouverts	Pas du tout $_0$	Un peu $_1$	Modérément $_2$	Sévèrement $_3$
13. Étourdissement les yeux fermés	Pas du tout $_0$	Un peu $_1$	Modérément $_2$	Sévèrement $_3$
14. *Vertiges	Pas du tout $_0$	Un peu $_1$	Modérément $_2$	Sévèrement $_3$
15. **Conscience de l'estomac	Pas du tout $_0$	Un peu $_1$	Modérément $_2$	Sévèrement $_3$
16. Rots	Pas du tout $_0$	Un peu $_1$	Modérément $_2$	Sévèrement $_3$
Score 1 :	**|__|__|/27**			
Score 2 :	**|__|__|/21**			

A.11 Annexe 11 : Traduction française de l'IPQ

Questionnaire de qualité de l'immersion en RV

Voici plusieurs propositions qui peuvent s'appliquer à l'expérience que vous venez d'avoir. Indiquez, s'il vous plait, si chacune de ces propositions s'applique ou non à votre expérience. Vous pouvez utiliser n'importe quelle graduation. Il n'y a pas de bonne ou de mauvaise réponse, seule votre opinion est importante.

Vous remarquerez que certaines questions se ressemblent. Ceci est nécessaire pour des raisons statistiques. Rappelezvous que vous devez répondre à ces questions en vous référant seulement à l'expérience que vous venez juste d'avoir.

1. A quel point étiez-vous conscient du monde réel environnant alors que vous étiez en train de naviguer dans le monde virtuel ? (par exemple : sons, température de la pièce, présence d'autres gens, etc.) ?

Extrêmement conscient							**Pas conscient du tout**
-3	-2	-1	0	+1	+2	+3	
			Modérément Conscient				

2. Comment le monde virtuel vous a-t-il semblé ?

Complètement réel						**Pas du tout réel**
-3	-2	-1	0	+1	+2	+3

3. J'ai eu la sensation d'agir dans l'espace virtuel plutôt que d'agir sur un quelconque mécanisme à l'extérieur de celui-ci.

Pas du tout d'accord						**Complètement d'accord**
-3	-2	-1	0	+1	+2	+3

4. A quel point votre expérience dans l'environnement virtuel vous a-t-elle semblée cohérente avec votre expérience dans le monde réel ?

Pas cohérente						**Très cohérente**
-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
			Modérément Cohérente			

5. A quel point le monde virtuel vous a-t-il semblé réel ?

A peu près aussi réel qu'un monde imaginé						**Indistinguable du monde réel**
3	-2	-1	0	+1	+2	+3

6. Je ne me suis pas senti présent dans l'espace virtuel.

Pas senti présent						**Senti présent**
-3	-2	-1	0	+1	+2	+3

7. Je n'étais pas conscient de mon environnement réel.

Pas du tout d'accord							Tout à fait d'accord
-3	-2	-1	0	+1	+2	+3	

8. Dans le monde généré par l'ordinateur, j'ai eu le sentiment "d'y être ".

Pas du tout							Beaucoup
-3	-2	-1	0	+1	+2	+3	

9. D'une certaine façon, j'ai eu l'impression que le monde virtuel m'entourait.

Pas du tout d'accord							Tout à fait d'accord
-3	-2	-1	0	+1	+2	+3	

10. Je me suis senti présent dans l'espace virtuel.

Pas du tout d'accord							Tout à fait d'accord
-3	-2	-1	0	+1	+2	+3	

11. Je faisais toujours attention à l'environnement réel.

Pas du tout d'accord							Tout à fait d'accord
-3	-2	-1	0	+1	+2	+3	

12. Le monde virtuel semblait plus réaliste que le monde réel.

Pas du tout d'accord							Tout à fait d'accord
-3	-2	-1	0	+1	+2	+3	

13. J'avais l'impression que j'étais juste en train de percevoir des images.

Pas du tout d'accord							Tout à fait d'accord
-3	-2	-1	0	+1	+2	+3	

14. J'étais complètement captivé par le monde virtuel.

Pas du tout d'accord							Tout à fait d'accord
-3	-2	-1	0	+1	+2	+3	

Score 1 – G :	**|__|__|/3**
Score 2 – SP :	**|__|__|/15**
Score 3 – INV :	**|__|__|/12**
Score 4 – REAL :	**|__|__|/12**

A.12 Annexe 12 : Résultats des tests appariées de Wilcoxon, entre les moyennes des scores de craving, pour chaque paire de pièce d'exposition pour les deux populations (patients et témoins)

Comparaison	*p (Patientes)*	*p (Témoins)*
Hall de l'immeuble/ Chambre à coucher	**0,0036****	0,96
Hall de l'immeuble/ Chambre de l'adolescent	**0,00033*****	1,00
Hall de l'immeuble/ Salon	**0,000019*****	0,33
Hall de l'immeuble/ Cuisine	**0,000018*****	**0,0096****
Chambre à coucher/ Chambre de l'adolescent	**0,0036****	1,00
Chambre à coucher/ Salon	**0,000025*****	0,33
Chambre à coucher/ Cuisine	**0,000018*****	**0,0096****
Chambre de l'adolescent/ Salon	**0,00011*****	0,16
Chambre de l'adolescent/ Cuisine	**0,000018*****	**0,0038****
Salon/ Cuisine	**0,000019*****	**0,0038****

A.13 Annexe 13 : Résultats des tests appariées de Wilcoxon, entre les moyennes des scores d'anxiété, pour chaque paire de pièce d'exposition pour les deux populations (patients et témoins)

Comparaison	*p (Patientes)*	*p (Témoins)*
Hall de l'immeuble/ Chambre à coucher	**0,048***	0,14
Hall de l'immeuble/ Chambre de l'adolescent	**0,0024***	0,10
Hall de l'immeuble/ Salon	**0,0023***	0,10
Hall de l'immeuble/ Cuisine	**0,0076***	0,14
Chambre à coucher/ Chambre de l'adolescent	0,081	0,15
Chambre à coucher/ Salon	0,083	0,10
Chambre à coucher/ Cuisine	0,42	0,31
Chambre de l'adolescent/ Salon	0,69	0,11
Chambre de l'adolescent/ Cuisine	0,69	0,83
Salon/ Cuisine	0,54	0,14

A.14 Annexe 14 : Résultats des tests appariées de Wilcoxon, entre les moyennes des conductance cutanée mesurées, pour chaque paire de pièce d'exposition pour les deux populations (patients et témoins)

Comparaison	*p (Patientes))*	*p (Témoins)*
Hall de l'immeuble/ Chambre à coucher	0,90	**0,022***
Hall de l'immeuble/ Chambre de l'adolescent	0,20	**0,00020*****
Hall de l'immeuble/ Salon	0,90	0,36
Hall de l'immeuble/ Cuisine	0,050	0,11
Chambre à coucher/ Chambre de l'adolescent	0,21	0,013
Chambre à coucher/ Salon	0,56	0,92
Chambre à coucher/ Cuisine	0,079	0,27
Chambre de l'adolescent/ Salon	**0,0096****	0,11
Chambre de l'adolescent/ Cuisine	0,99	0,12
Salon/ Cuisine	**0,01***	0,20

A.15 Annexe 15 : Résultats des tests appariées de Wilcoxon, entre les moyennes des puissances spectrales des HF de la VFC mesurée, pour chaque paire de pièce d'exposition pour les deux populations (patients et témoins)

Comparaison	*p (Patientes)*	*p (Témoins)*
Hall de l'immeuble/ Chambre à coucher	0,63	0,59
Hall de l'immeuble/ Chambre de l'adolescent	0,69	0,74
Hall de l'immeuble/ Salon	0,86	0,59
Hall de l'immeuble/ Cuisine	0,86	0,74
Chambre à coucher/ Chambre de l'adolescent	0,60	1,00
Chambre à coucher/ Salon	0,60	1,00
Chambre à coucher/ Cuisine	0,79	0,83
Chambre de l'adolescent/ Salon	0,86	0,74
Chambre de l'adolescent/ Cuisine	0,63	0,92
Salon/ Cuisine	0,86	0,74

A.16 Annexe 16 : Dénominations, formats d'origine, auteurs, liens et licences Sketchfab des 38 aliments 3D sélectionnés dans Sketchfab

Asset name	*3D model name (.obj)*	*Format*	*Extension*	*Author*	*web page*	*License*
Mango Photogrammetry	mango_retopo	Autodest FBX	fbx	Nom	https://sketchfab.com/3d-models/mango-photogrammetry-10155642c61c4ee29bef4f9cbdf63e72	CC BY 4.0
Corn Tortilla Chip	chip 1	GLB	glb	andrewfrueh	https://sketchfab.com/3d-models/corn-tortilla-chip-d1a9d71f62784df5906ef54d6b25a5ae	CC BY 4.0
Sushi and nigiri making at home	sushi	OBJ	obj	Zoltanfood	https://sketchfab.com/3d-models/sushi-and-nigiri-making-at-home8cafb0c3b3bc415b8cf1d5076fbb6442	Editorial
Sausage Roll on White Plate	cgaxis_models_71_35_obj	OBJ	obj	cgaxis	https://sketchfab.com/3d-models/sausage-roll-on-white-plate2722284d3c564a5ca2407a125e807d74	Standard
3D scan snack	cips4	OBJ	obj	Aysu	https://sketchfab.com/3d-models/3d-scan-snack-2b4579e94cb54504a15a7b9c19475931	CC BY 4.0
Swedish Semla	model_Swedish Semla_20180122_151526497	OBJ	obj	Swedish Semla	https://sketchfab.com/3d-models/swedish-semla-20734034b9de434989d5163699ce6774	CC BY-ND 4.0
Bing Cherry (Surface Macro)	fr_bingCherry	OBJ	obj	inciprocal	https://sketchfab.com/3d-models/bing-cherry-surface-macro450fb6a057fd4ce4a416c714a5676fdf	Standard
Cinnamon Pastry	model_Cinnamon Pastry_20180129_103027739	OBJ	obj	Qlone	https://sketchfab.com/3d-models/cinnamon-pastry-8288a08fca6d463ca329dbe49c85b77a	CC BY-ND 4.0
Côte de Bœuf	Cote de boeuf	OBJ	obj	Bart	https://sketchfab.com/3d-models/peach-2ad8fa7c276b43e1a3d3cfa130d96dc9	Editorial
Peach	Peach	Autodest FBX	fbx	SmallpolyArt	https://sketchfab.com/3d-models/cote-de-buf-09cc351e0d4646559664c2ac7231a4ed	Standard
Paris-Brest Pastry	parisbrest10kcolo	OBJ	obj	3DSCANFR (sdrn)	https://sketchfab.com/3d-models/paris-brest-pastry-2ef21c0cd4384b99a8a67de2737c26fa	Standard
Pear Conference Photogrammetry LowPoly 4K	Pera_LP_4KPera_ZREMESHER	OBJ	obj	Ximo Vilaplana	https://sketchfab.com/3d-models/pear-conference-photogrammetry-lowpoly-4k5e711063ffab42cba08b02ff4ab881c0	Standard
Burger King Chicken Nugget	chickenNugget1_v03.06_medium	OBJ	obj	omegadarling	https://sketchfab.com/3d-models/burger-king-chicken-nuggetb4a8354503684073911f635632c39f117	Editorial
Cereal Bowl	NO LONGER AVAILABLE ON SKETCHFAB !!					
Chocolate Muffin	muffin	OBJ	obj	Zoltanfood	https://sketchfab.com/3d-models/chocolate-muffin-b5b2012b2e894095b9ce21cb2b446cad	CC BY 4.0
Sliced cake	mesh	OBJ	obj	vorobevdesign	https://sketchfab.com/3d-models/sliced-cake-02b83b475efa4d67986bc9a8c16356d6	CC BY 4.0
Kiwi Zespri – fruit food 3dscan photogrammetry	model	OBJ	obj	riccardogiorato	https://sketchfab.com/3d-models/kiwi-zespri-fruit-food-3dscan-photogrammetry2f964f5ca7e8465b9e2a992f829887bb	Editorial
Sweet Bread Roll	BreadRoll	OBJ	obj	Moshe Caine	https://sketchfab.com/3d-models/sweet-bread-roll-643e3c77db9c40c5a90f5cb78e3cd6c3	CC BY 4.0
Roast chicken	model	Collada	dae	daidaiaoko	https://sketchfab.com/3d-models/roast-chicken-004fb4d72f6c4e55a15b9025a868d1a3	CC BY 4.0
French cheese : Un Peu de Fromage ?	#3DST6 French cheese	OBJ	obj	Gerpho 3D	https://sketchfab.com/3d-models/french-cheese-un-peu-de-fromage55b87c9b87fa44b7ac95a7cb3e20de89	Standard

Mini Watermelon Slice	fr_miniWMelonSlice	OBJ	obj	inciprocal	https://sketchfab.com/3d-models/mini-watermelon-slice-3709f7e55be949808f84cf324fd01d9e	Standard
Kouign-Amann 3S scan (French Pastry)	kouign	OBJ	obj	Benoît Rogez	https://sketchfab.com/3d-models/kouign-amann-3d-scan-french-pastry135b4b6b5a5342639e99ba02825ea441	Standard
Back Yard Burgers – Classic Burger	Model	OBJ	obj	Ehsan Abbasi	https://sketchfab.com/3d-models/back-yard-burgers-classic-burger6e13942ff76d4129b06e097cdd060adb	CC BY-SA 4.0
Cream filled Eclaire	model_Cream filled Eclaire_20200311_152422663	OBJ	obj	Ronen	https://sketchfab.com/3d-models/cream-filled-eclaire-34368742f07c48a8bc2404f7feef2fd3	CC BY 4.0
Loaf of Bread Scan	Loaf of Bread Scan by Max Funkner 5	OBJ	obj	Max Funkner	https://sketchfab.com/3d-models/loaf-of-bread-scan-af71d7fe4b87409f8d9b81452fcb9847	CC BY-NC 4.0
Pistachio Dessert	model_Pistachio Dessert_20180311_152203328	OBJ	obj	Qlone	https://sketchfab.com/3d-models/pistachio-dessert-fef72556daab44ae95a12d3f9c2bc242	CC BY-ND 4.0
Dry sausage – low poly	model	Collada	dae	Léonard_Doye / Leoskateman	https://sketchfab.com/3d-models/dry-sausage-low-poly-b253093dcfcb49c29e4381b96da841de	Standard
Tasty Green Apple	greenapple_low	OBJ	obj	DigitalSouls	https://sketchfab.com/3d-models/tasty-green-apple-2e5814a007a74649ac9ee26c53cc4ebc	CC BY-NC 4.0
Small raspberry tart / tartelette	framb	OBJ	obj	Benoît Rogez	https://sketchfab.com/3d-models/small-raspberry-tart-tartelettefde50d5b7ddc4820b2790105c6bb239b	Standard
Challah bread	model_Challah bread_20180930_194955161	OBJ	obj	Qlone	https://sketchfab.com/3d-models/challah-bread-a72743dbade84361837b33e92bb84b40	CC BY-ND 4.0
Chocolate Chip Cookie 1	choc_chip_cookie_1_all_lod	OBJ	obj	James West	https://sketchfab.com/3d-models/chocolate-chip-cookie-1-ffc57c85d9a9452b946c50bffc93e6c1	Standard
Banana 3D scan	export_low_poly	OBJ	obj	grafi	https://sketchfab.com/3d-models/banana-3d-scan-c4f9b194abca4db7b4cd0ec6270f9d60	CC BY 4.0
CHOCOLATE FROSTED DONUT (SPRINKLES) 3D MODEL	chocodonut	OBJ	obj	Guillermo Sainz	https://sketchfab.com/3d-models/chocolate-frosted-donut-sprinkles-3d-modela8f4e3e6781142baa8f7e2ad8e3da355	Editorial
Mac test 1	mac	OBJ	obj	Siavash Razavi	https://sketchfab.com/3d-models/mac-test-1-0c16868952444 09f98f2ec08c2cf9fe2	CC BY 4.0
Bowl full of hard candies – Photogrammetry	candies_final	Autodest FBX	fbx	Enlil Scan	https://sketchfab.com/3d-models/bowl-full-of-hard-candies-photogrammetry937873b510d64512ba21d1714ba3c534	Standard
Hotdog lowpoly (7k tris) 3D scan	HotDogLowPoly	Autodest FBX	fbx	Xeverian	https://sketchfab.com/3d-models/hotdog-lowpoly-7k-tris-3d-scan091345bcc34f4e95a85843e551eadbe7	CC BY 4.0
Slice Corrected V4	New Pizza Slice Corrected V4	OBJ	obj	Chris	https://sketchfab.com/3d-models/slice-corrected-v4-a9d532b128ea4f37bdf268c6c8814710	CC BY 4.0
Pain au chocolat	model	Collada	dae	3DSCANFR (sdrn)	https://sketchfab.com/3d-models/pain-au-chocolat-1269bc7ce1d44c03b58ee991b57f2a16	Standard

A.17 Annexe 17 : Résultats de l'étude préliminaires de la classification des 38 visuels 3D d'aliments

	Classement	Moyenne	Ecart-type
11	Paris-Brest	8,8	0,98
29	Tartelette aux framboises	8,8	1,17
38	Pain au chocolat	8,2	1,17
37	Tranche de pizza	8,2	0,75
9	Côte de bœuf	8,2	2,14
24	Eclair à la crème	7,5	1,52
8	Roulé à la cannelle	7,3	1,37
3	Sushis	7,2	2,48
31	Cookie	7,0	1,26
18	Bagel	6,7	1,63
15	Muffin	6,3	1,97
13	Nugget	6,2	2,04
30	Brioche tressée	6,2	0,98
16	Gâteau tranché	6,2	2,48
36	Hot-Dog	6,0	1,90
33	Donut	6,0	1,41
7	Cerise	6,0	1,67
6	Chou à la crème	5,8	1,17
27	Saucisson	5,7	2,07
26	Dessert à la pistache	5,5	1,64
28	Pomme	5,5	1,38
34	Pâtes	5,3	2,25
4	Friand à la saucisse	5,3	1,86
20	Plateau de fromage	5,3	3,93
22	Kouign Amann	5,3	2,07
23	Burger	5,2	2,86
12	Poire Conférence	5,0	1,41
25	Miche de pain	5,0	2,28
19	Poulet rôti	4,8	1,72
10	Pêche	4,8	1,47
5	Biscuits apéritifs	4,7	1,37
21	Tranche de pastèque	4,7	2,58
32	Banane	4,7	1,03
17	Kiwi	4,0	1,26
14	Bol de céréales	3,8	2,48
2	Tortilla de maïs	3,8	1,17
1	Mangue	3,7	1,75
35	Bol de bonbons	3,2	1,94

A.18 Annexe 18 : Représentations des 70 modèles 3D finaux

Quality Level	Pain au chocolat	Cake	Cookie
Level 1			
Level 2			
Level 3			
Level 4			
Level 5			
Level 6			
Level 7			

Quality Level	Muffin	Cream eclair	Cinnamon roll
Level 1			
Level 2			
Level 3			
Level 4			
Level 5			
Level 6			
Level 7			

Quality Level	Pizza part	Sushis	Raspberry tartlet
Level 1			
Level 2			
Level 3			
Level 4			
Level 5			
Level 6			
Level 7			

Quality Level	Paris-Brest
Level 1	
Level 2	
Level 3	
Level 4	
Level 5	
Level 6	
Level 7	

A.19 Annexe 19 : Résultats des T-tests ou des comparaisons appariées de Wilcoxon entre les différents types d'aliment 3D. Les lignes en jaune correspondent à des comparaisons significatives (p-value$<$0.05).

Comparaison de type d'aliment	*Différence de moyenne*	*Statistique T (T-test) ou W (Wilcoxon)*	*p*
Gâteau tranché/ Pain au chocolat	0,77	8039	0,0053
Gâteau tranché/ Roulé à la cannelle	0,92	8303	<,001
Gâteau tranché/ Cookie	-0,18	6162	0,66
Gâteau tranché/ Éclair à la crème	0,93	7514	<,001
Gâteau tranché/ Muffin	-0,93	3348	<,001
Gâteau tranché/ Paris-Brest	0,36	6334	0,096
Gâteau tranché/ Part de pizza	-1,31	2820	<,001
Gâteau tranché/ Sushis	-0,64	4110	0,0034
Gâteau tranché/ Raspberry tartlet	-1,42	2953	<,001
Pain au chocolat/ Roulé à la cannelle	0,15	6300	0,66
Pain au chocolat/ Cookie	-0,95	4099	0,0012
Pain au chocolat/ Éclair à la crème	0,16	6277	0,35
Pain au chocolat/ Muffin	-1,70	-6,99 (T)	<,001
Pain au chocolat/ Paris-Brest	-0,41	4989	0,11
Pain au chocolat/ Part de pizza	-2,08	2559	<,001
Pain au chocolat/ Sushis	-1,41	-5,12 (T)	<,001
Pain au chocolat/ Tartelette aux framboises	-2,19	1643	<,001
Roulé à la cannelle/ Cookie	-1,10	3981	<,001
Roulé à la cannelle/ Éclair à la crème	0,010	5373	0,87
Roulé à la cannelle/ Muffin	-1,86	1715	<,001
Roulé à la cannelle/ Paris-Brest	-0,56	4189	0,020
Roulé à la cannelle/ Part de pizza	-2,24	1340	<,001
Roulé à la cannelle/ Sushis	-1,57	2323	<,001
Roulé à la cannelle/ Tartelette aux framboises	-2,35	929	<,001
Cookie/ Éclair à la crème	1,10	8832	<,001
Cookie/ Muffin	-0,76	4475	0,0012
Cookie/ Paris-Brest	0,54	6975	0,040
Cookie/ Part de pizza	-1,14	3938	<,001
Cookie/ Sushis	-0,47	-1,69 (T)	0,093
Cookie/ Tartelette aux framboises	-1,25	3192	<,001
Éclair à la crème/ Muffin	-1,86	1826	<,001
Éclair à la crème/ Paris-Brest	-0,57	3035	0,0027
Éclair à la crème/ Pizza Part	-2,24	1597	<,001
Éclair à la crème/ Sushis	-1,57	-7,29 (T)	<,001
Éclair à la crème/ Tartelette aux framboises	-2,35	-2,35 (T)	<,001
Muffin/ Paris-Brest	1,30	8856	<,001
Muffin/ Part de pizza	-0,38	4235	0,033
Muffin/ Sushis	0,29	7277	0,096
Muffin/ Tartelette aux framboises	-0,49	4884	0,026
Paris-Brest/ Part de pizza	-1,68	3044	<,001
Paris-Brest/ Sushis	-1,01	-3,95 (T)	<,001
Paris-Brest/ Tartelette aux framboises	-1,79	1974	<,001
Part de pizza/ Sushis	0,67	6677	<,001
Part de pizza/ Tartelette aux framboises	-0,11	5979	0,64
Sushis/ Tartelette aux framboises	-0,78	-3,24 (T)	0,0014

A.20 Annexe 20 : Résultats des tests appariés de normalité de Shapiro-Wilk entre les différents niveaux de qualité des modèles 3D. Les lignes en jaune correspondent à une validation de l'hypothèse de normalité ($p>0.05$).

Comparaison de type d'aliment	*Statistique W*	*p*
Gâteau tranché/ Pain au chocolat	0,99	0,042
Gâteau tranché/ Roulé à la cannelle	0,96	<,001
Gâteau tranché/ Cookie	0,98	0,034
Gâteau tranché/ Éclair à la crème	0,96	<,001
Gâteau tranché/ Muffin	0,95	<,001
Gâteau tranché/ Paris-Brest	0,97	<,001
Gâteau tranché/ Part de pizza	0,97	<,001
Gâteau tranché/ Sushis	0,97	<,001
Gâteau tranché/ Raspberry tartlet	0,98	0,0073
Pain au chocolat/ Roulé à la cannelle	0,97	<,001
Pain au chocolat/ Cookie	0,96	<,001
Pain au chocolat/ Éclair à la crème	0,98	0,0038
Pain au chocolat/ Muffin	0,99	0,079
Pain au chocolat/ Paris-Brest	0,98	0,012
Pain au chocolat/ Part de pizza	0,98	0,023
Pain au chocolat/ Sushis	0,99	0,12
Pain au chocolat/ Tartelette aux framboises	0,98	0,039
Roulé à la cannelle/ Cookie	0,98	0,0060
Roulé à la cannelle/ Éclair à la crème	0,96	<,001
Roulé à la cannelle/ Muffin	0,97	<,001
Roulé à la cannelle/ Paris-Brest	0,94	<,001
Roulé à la cannelle/ Part de pizza	0,98	0,0020
Roulé à la cannelle/ Sushis	0,98	0,011
Roulé à la cannelle/ Tartelette aux framboises	0,97	<,001
Cookie/ Éclair à la crème	0,98	0,036
Cookie/ Muffin	0,98	0,010
Cookie/ Paris-Brest	0,98	0,0030
Cookie/ Part de pizza	0,98	0,014
Cookie/ Sushis	0,99	0,11
Cookie/ Tartelette aux framboises	0,97	<,001
Éclair à la crème/ Muffin	0,97	0,0012
Éclair à la crème/ Paris-Brest	0,91	<,001
Éclair à la crème/ Pizza Part	0,97	0,0011
Éclair à la crème/ Sushis	0,99	0,065
Éclair à la crème/ Tartelette aux framboises	0,99	0,10
Muffin/ Paris-Brest	0,97	<,001
Muffin/ Part de pizza	0,97	<,001
Muffin/ Sushis	0,98	0,0038
Muffin/ Tartelette aux framboises	0,98	0,0049
Paris-Brest/ Part de pizza	0,98	0,028
Paris-Brest/ Sushis	0,99	0,081
Paris-Brest/ Tartelette aux framboises	0,98	0,0060
Part de pizza/ Sushis	0,95	<,001
Part de pizza/ Tartelette aux framboises	0,98	0,037
Sushis/ Tartelette aux framboises	0,99	0,053