



# Étude de Faisabilité d'Études Consommateurs d'Achat de Fruits et Légumes “ Moches ” dans un Supermarché Virtuel

Adrien Verhulst

## ► To cite this version:

Adrien Verhulst. Étude de Faisabilité d'Études Consommateurs d'Achat de Fruits et Légumes “ Moches ” dans un Supermarché Virtuel. Traitement du signal et de l'image [eess.SP]. École centrale de Nantes, 2018. Français. NNT : 2018ECDN0016 . tel-02101446

**HAL Id: tel-02101446**

**<https://theses.hal.science/tel-02101446>**

Submitted on 16 Apr 2019

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

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

# THESE DE DOCTORAT DE

L'ÉCOLE CENTRALE DE NANTES  
COMUE UNIVERSITE BRETAGNE LOIRE

ECOLE DOCTORALE N° 602  
*Sciences pour l'Ingénieur*  
Spécialité : « *Architecture et études urbaines* »

Par

**Adrien VERHULST**

## **Etude de faisabilité d'études consommateurs d'achat de fruits et légumes « moches » dans un supermarché virtuel**

Thèse présentée et soutenue à l'Ecole Centrale de Nantes, le 2 juillet 2018  
Unité de recherche : Centre de Recherche Nantais Architecture Urbanités  
(Ambiance Architecture Urbaine)

### **Rapporteurs avant soutenance :**

Mehdi AMMI  
Nadine COUTURE

Maître de conférences, HDR, Université Paris-Saclay  
Professeure ESTIA, HDR, Ecole Supérieure des Technologies Industrielles Avancées

### **Composition du Jury :**

Président : Franck MULTON

Professeur des Universités, Université de Rennes

Examineurs : Pascal GUITTON  
Pascale PIOLINO

Professeur des Universités, Université de Bordeaux  
Professeure des Universités, Université Paris Descartes

Dir. de thèse : Guillaume MOREAU

Professeur des Universités, Ecole Centrale de Nantes

Co-enc. de thèse : Jean-Marie NORMAND  
Co-enc. de thèse : Cindy LOMBART

Maître de conférences, Ecole Centrale de Nantes  
Professeure associée, Audencia Business School

**Titre :** Étude de Faisabilité d'Études Consommateurs d'Achat de Fruits et Légumes « Moches » dans un Supermarché Virtuel

**Mots clés :** Génération procédurale, Réalité Virtuelle, Incarnation Virtuelle, Magasin Virtuel

**Résumé :** La grande distribution affiche une politique anti-gaspillage et a ainsi proposé dès 2014 des Fruits et Légumes (F&Ls) « moches » [109] à la vente. Mais ces ventes sont temporaires et locales, et ont des effets peu étudiés sur le comportement des consommateurs.

Nous proposons ici d'étudier si un magasin virtuel immersif (dans lequel nous contrôlons les F&Ls) peut être utilisé pour étudier le comportement des consommateurs confronté à des F&Ls « moches ». Afin d'avoir assez de F&Ls pour remplir le magasin virtuel, nous avons généré des F&Ls d'apparences variables de manière semi-procédurale comme suit : (1) nous générons le maillage avec des Cylindres Généralisés (CGs) [6] ; puis (2) généreront les couleurs avec un système de particule.

Nous avons réalisé 2 études comparatives (resp.  $N=142$  et  $N=196$ ).

L'une portant sur le comportement consommateur lorsque les F&Ls sont plus ou moins anormaux (8 F&Ls séparés en 4 groupes : sans déformation, légèrement déformés, déformés et fortement déformés). Ces différences n'avaient pas d'incidences sur le comportement. L'autre portait sur le comportement consommateur lorsque l'environnement est plus ou moins immersif (8 F&Ls sans déformation et 8 F&Ls déformés, séparés en 3 groupes : magasin laboratoire, magasin virtuel non-immersif et magasin virtuel immersif). Il existe des différences entre ces environnements sur le comportement.

Enfin, nous avons étudié si la représentation virtuelle du consommateur avait un effet lors de l'achat des produits (incluant, mais ne se limitant pas aux F&Ls) nous avons donc réalisé une étude ( $N=29$ ) avec 2 groupes : avatar obèse et avatar non-obèse. Il existe des différences localisées entre ces représentations sur le comportement consommateur.

**Title :** Feasibility Study of Consumer Behavior Studies when Buying “Ugly” Fruits and Vegetables in a Virtual Supermarket

**Keywords :** Procedural Generation, Virtual Reality, Virtual Embodiment, Virtual Store

**Abstract :** The retail sector has an anti-waste policy and has therefore offered “ugly” FaVs (Fruits and Vegetables) for sale as early as 2014 [109]. But these sales remain temporary and local and have little studied effects on consumer behavior.

We propose here to study if an immersive virtual store (in which we control the FaVs) can be used to study consumer behavior confronted to “ugly” FaVs. To have enough “ugly” FaVs to fill the virtual store, we developed a method capable of generating semiprocedural FaVs. To do so we: (1) generate the mesh with Generalized Cylinders (GCs) [6]; then (2) generate the colors with a particle system.

We conducted 2 comparative studies ( $N=142$  and  $N=196$  respectively).

The first study focused on consumer behavior when the FaVs are abnormal (8 FaVs separated into 4 groups: no deformation, slightly deformed, deformed and strongly deformed). These differences had no impact on consumer behavior. The other study focused on consumer behavior when the environment is more or less immersive (8 FaVs without deformation and 8 FaVs with deformation, separated into 3 groups: laboratory store, non-immersive virtual store and immersive virtual store). There are differences between these environments on consumer behavior.

Finally, we studied if the virtual representation of the consumer had an impact during the purchase of products (including, but not limited to, FaVs). To do so we carried out a third consumer study ( $N=29$ ) (2 groups: obese avatar and non-obese avatar). There are very localized differences between these representations on consumer behavior.

# Remerciements

Je tiens à exprimer ma reconnaissance à mon directeur de thèse ainsi qu'à mes co-encadrants pour leur présence et le temps qu'ils m'ont consacré aux cours de ces 3 années. Je tenais particulier à remercier : le professeur Guillaume Moreau pour m'avoir orienté lors de cette thèse, et être resté attentif et sensible aux difficultés rencontrés lors de celle-ci ; le professeur Jean-Marie Normand pour avoir toujours été très investi, que cela soit pour la mise en place, la réalisation, et la finalisation des différents projets effectués ; et au professeur Cindy Lombart, pour s'être considérablement investie lors des études utilisateurs (2 fois 200 étudiants !) et sans qui cette thèse n'aurait pas pu être possible. Également merci au professeur Maki Sugimoto pour m'avoir accueilli pendant 10 mois dans son laboratoire et m'avoir donné accès à des ressources qui se sont relevées essentielles à ma thèse.

Aussi, merci à ma famille pour m'avoir accompagné tout au long de cette thèse, et en particulier lors de ce derniers mois pour avoir su me pousser à la terminer.

# Table des matières

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| <b>1</b> | <b>Introduction</b>   | <b>8</b>  |
| <b>2</b> | <b>Chapitre 2 : État de l’art</b>   | <b>12</b> |
| 2.1      | Définitions de Fruits et Légumes et de Fruits et Légumes moches . . . . .         | 12        |
| 2.1.1    | Définitions de Fruits et Légumes . . . . .  | 12        |
| 2.1.2    | Normes de qualité des Fruits et Légumes . . . . .                                 | 14        |
| 2.2      | Fruits et Légumes en Supermarché et Hypermarché . . . . .                         | 19        |
| 2.2.1    | Les Fruits et Légumes frais en Grande et Moyenne Surface . . . . .                | 19        |
| 2.2.2    | Les Supermarchés, les Hypermarchés, et les Fruits et Légumes moches               | 22        |
| 2.3      | Réalité Virtuelle, présence, immersion et incarnation . . . . .                   | 24        |
| 2.3.1    | Présence . . . . .  | 25        |
| 2.3.2    | Immersion . . . . .   | 26        |
| 2.3.3    | Réalité Virtuelle et Réalité Virtuelle Immersive . . . . .                        | 27        |
| 2.3.4    | L’incarnation Virtuelle . . . . .   | 27        |
| 2.4      | Magasins Virtuels dans le Marketing . . . . .                                     | 32        |
| 2.4.1    | Les magasin virtuels . . . . .  | 33        |
| 2.4.2    | Magasins Virtuels dans la recherche marketing . . . . .                           | 36        |
| 2.4.3    | Comparaison entre les magasins réels et les magasin virtuels . . . . .            | 39        |
| 2.5      | Génération procédurale de Fruits et Légumes 3D . . . . .                          | 40        |
| 2.5.1    | Génération de modèles 3D de Fruits et Légumes . . . . .                           | 40        |
| 2.5.2    | Changement d’apparence des Fruits et Légumes . . . . .                            | 43        |
| 2.6      | Conclusion . . . . .  | 45        |
| <b>3</b> | <b>Chapitre 3 : Génération de Fruits et Légumes Moches</b>                        | <b>47</b> |
| 3.0.1    | Structure en squelette, Cylindres Généralisés (GCs) et <i>metaballs</i> . . . . . | 49        |

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| 3.0.2    | Génération de la texture de couleur . . . . .  | 53        |
| 3.0.3    | Résultats . . . . .  | 55        |
| 3.0.4    | Conclusion . . . . .   | 60        |
| <b>4</b> | <b>Chapitre 4 : Études utilisateur, avec comparaison de Fruits et Légumes</b>  | <b>62</b> |
| 4.1      | Le magasin virtuel, avec et sans immersion . . . . .   | 62        |
| 4.1.1    | Description du magasin virtuel . . . . .   | 62        |
| 4.1.2    | Interaction avec les produits . . . . .  | 65        |
| 4.2      | Étude utilisateur 1 : Réaction utilisateur face à des Fruits et Légumes de<br>différentes qualités dans un magasin virtuel immersif . . . . .  | 66        |
| 4.2.1    | La session d'entraînement . . . . .  | 70        |
| 4.2.2    | L'achat des Fruits et Légumes dans le magasin virtuel . . . . .  | 70        |
| 4.2.3    | Résultats . . . . .  | 72        |
| 4.2.4    | La perception des consommateurs vis à vis des Fruits et Légumes<br>moches . . . . .  | 74        |
| 4.2.5    | Discussion . . . . .   | 76        |
| 4.2.6    | Conclusion . . . . .   | 77        |
| 4.3      | Étude utilisateur 2 : Réaction utilisateur face à des Fruits et Légumes<br>standards et non-standards dans un magasin laboratoire réel, un magasin<br>virtuel non immersif et dans un magasin virtuel immersif . . . . . | 78        |
| 4.3.1    | Participants . . . . .   | 79        |
| 4.3.2    | Protocole Expérimental . . . . .   | 80        |
| 4.3.3    | Résultats . . . . .  | 85        |
| 4.3.4    | Perceptions, comportements et immersion des participants . . . . .   | 87        |
| 4.3.5    | Impression . . . . .   | 88        |
| 4.3.6    | Qualité . . . . .  | 88        |
| 4.3.7    | Prix . . . . .   | 89        |
| 4.3.8    | Comportement des participants . . . . .  | 89        |
| 4.3.9    | Le comportement futur des participants . . . . .   | 91        |
| 4.3.10   | Interaction, Présence et Confort . . . . .   | 91        |
| 4.3.11   | Discussion . . . . .   | 92        |
| 4.3.12   | Conclusion . . . . .   | 94        |

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| <b>5</b> | <b>Chapitre 5 : Étude utilisateur, changement de perception de produits et de comportements d'achats de participants incarnés dans un corps obèse</b> | <b>97</b> |
| 5.1      | Introduction . . . . .  | 97        |
| 5.2      | L'effet d'amorçage des avatars dans les magasins virtuels . . . . .   | 100       |
| 5.3      | Expérience . . . . .  | 101       |
| 5.4      | Protocole expérimental . . . . .  | 102       |
| 5.4.1    | L'entraînement (étape I et II) . . . . .  | 104       |
| 5.4.2    | L'expérience (étape III) . . . . .  | 104       |
| 5.4.3    | Les questionnaires dans l'Environnement Virtuel (étape IV) . . . . .  | 105       |
| 5.4.4    | Les questionnaires hors Environnement Virtuel (étape 5) . . . . .   | 108       |
| 5.5      | L'environnement virtuel et le matériel utilisé . . . . .  | 108       |
| 5.5.1    | Les avatars . . . . .   | 109       |
| 5.5.2    | Le magasin et ses fournitures . . . . .   | 111       |
| 5.5.3    | Une interaction basée sur la direction du regard . . . . .  | 111       |
| 5.5.4    | Les produits et le Facteur de Santé des Produits . . . . .  | 112       |
| 5.5.5    | Le matériel utilisé . . . . .   | 113       |
| 5.6      | Résultats . . . . .   | 114       |
| 5.6.1    | Méthodologie et homogénéité des groupes . . . . .   | 115       |
| 5.6.2    | L'incarnation et la présence . . . . .  | 115       |
| 5.6.3    | La perception des avatars . . . . .   | 115       |
| 5.6.4    | Les données consommateurs . . . . .   | 117       |
| 5.6.5    | La perception du panier . . . . .   | 118       |
| 5.6.6    | La perception des produits . . . . .  | 118       |
| 5.6.7    | L'importance de la santé . . . . .  | 119       |
| 5.7      | Discussion . . . . .  | 119       |
| 5.7.1    | L'incarnation et la présence . . . . .  | 120       |
| 5.7.2    | Comportement d'achat . . . . .  | 121       |
| 5.7.3    | La perception du panier et des produits . . . . .   | 123       |
| 5.7.4    | La perception de l'avatar . . . . .   | 123       |
| 5.7.5    | Intérêt dans la santé . . . . .   | 124       |

|          |                              |            |
|----------|------------------------------|------------|
| 5.8      | Limitations . . . . .        | 124        |
| 5.9      | Conclusion . . . . .         | 125        |
| <b>6</b> | <b>Conclusion</b>            | <b>127</b> |
| <b>A</b> | <b>Annexe : Publications</b> | <b>152</b> |



# Introduction

En 2011, un rapport de l’Organisation des Nations Unies pour l’Alimentation et l’Agriculture (ONUAA) [64] a montré qu’environ un tiers de la nourriture à destination de la consommation humaine produite dans le monde finit en réalité en pertes et gaspillages<sup>1</sup> chaque année (soit près de 1.3 milliards de tonnes). En Europe, c’est ainsi près de 88 millions de tonnes de nourritures qui sont ainsi gaspillées chaque année [43]. Ce gaspillage économiquement coûteux pose également d’importants problèmes environnementaux (surfaces cultivables, ressources utilisées en eau par exemple ou encore utilisation de pesticides et engrais). Il est donc utile et nécessaire de chercher sinon à le supprimer, du moins à le réduire.

Les Fruits et Légumes (F&Ls) sont essentiellement gaspillés (près de 45%) en Europe, et c’est cette catégorie d’aliments qui a le plus fort taux de gaspillage dans le monde par rapport aux autres types de nourriture (e.g. viande, poisson, etc.). Dans les régions industrielles (i.e. Europe, Amérique du Nord, Océanie et Asie industrialisée), les pertes de F&Ls causées au niveau des agriculteurs sont d’environ 20%<sup>2</sup> (cf. Fig. 1.1), et celles causées au niveau des consommateurs sont d’environ 15-20% (cf. Fig. 1.1). Les pertes de l’agriculture sont dues essentiellement aux standards imposés par la grande distribution qui définissent ce qui est propre ou impropre à la vente, et donc à la consommation.

Pour répondre aux problèmes de tous ordres causés par le gaspillage alimentaire, l’Europe a décidé en 2015 de diviser par deux le gaspillage alimentaire d’ici 2030 en mettant en place (1) une méthodologie permettant de mesurer le gaspillage ; (2) une plateforme avec

---

1. “Les pertes et les gaspillages alimentaires réfèrent à la diminution de la masse de denrées destinées à la consommation humaine constatée au cours des stades successifs de la chaîne d’approvisionnement” [65], c’est à dire les pertes à partir du producteur jusqu’au consommateur.

2. Notons que ce sont les agriculteurs qui vérifient les normes imposées par leurs clients (tels que les standards requis par l’Organisation de Coopération et de Développement Économiques (OCDE) ou l’United Nations Economic Commission for Europe (UNECE)), ce qui explique en partie les pertes élevées.

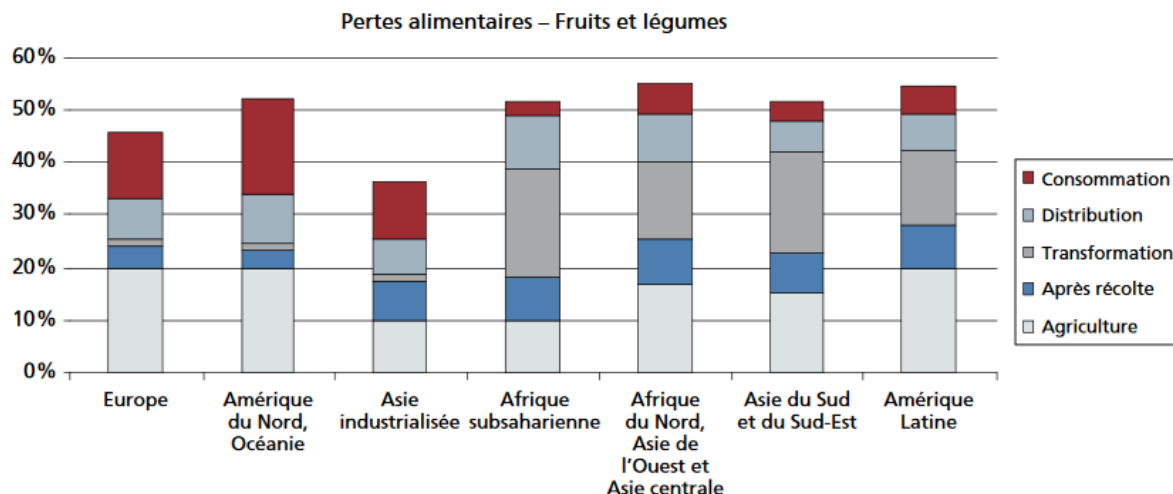


FIGURE 1.1 – Production de F&Ls initiale perdue ou gaspillée par région aux différents stades de la chaîne alimentaire (image tirée d’un rapport de l’ONUAA [64]).

les acteurs de la grande distribution ; et (3) des mesures pour aider la grande distribution à redistribuer les aliments dont la date limite de vente a expiré.

La grande distribution, parce qu’elle est en partie responsable de ce gaspillage alimentaire et parce qu’elle est la plus à même d’aider à la résoudre (en effet une très grande partie des F&Ls achetés et vendus le sont par les Grandes et Moyennes Surfaces (GMS)), est donc un acteur incontournable des politiques anti-gaspillage. Elle a incidemment proposé dès 2014 des F&Ls non-standards à la vente, et affiché une volonté de lutter contre le gaspillage alimentaire en mettant en avant son attention à la lutte contre le gaspillage et plus largement, son attention à l’écologie. Ces considérations pro-environnementales, non seulement apportent un élément de réponse à un problème de société, mais améliorent aussi l’image de la grande distribution, et la place comme un acteur innovant et incontournable, capable et désireux de proposer une production locale et saine.

Cependant, ces ventes des F&Ls non-standards demeurent des initiatives temporaires et très locales (au succès néanmoins international). Parce que ces initiatives sont récentes, les raisons de ce “non-déploiement” nous sont encore méconnues. Elles sont sans aucun doute nombreuses et susceptibles de permettre une meilleure compréhension des mécanismes d’offre et de demande dans ce domaine, mais cette thèse n’a pas pour objectif de les explorer. Nous nous proposons par contre de vérifier si l’un des outils utilisés par la grande distribution pour étudier le comportement des consommateurs peut être également utilisé pour étudier le comportement des consommateurs confrontés à des F&Ls “moches”

et ne répondant donc pas aux normes des GMS.

Cet outil, c'est la Réalité Virtuelle (RV), et **l'objectif de cette thèse, c'est d'étudier la faisabilité d'étudier le comportement des consommateurs<sup>3</sup> dans un magasin virtuel proposant des F&Ls "moches"**. *Précisons que nous nous intéressons avant tout à la perception que peuvent avoir les consommateurs des produits présentés et à leur comportement d'achat.*

La réalité virtuelle est en effet déjà utilisée dans des magasins laboratoires virtuels pour étudier le comportement des consommateurs (e.g. lors de l'achat d'un produit bénéficiant ou non d'une promotion ou d'une réduction [194]).

Il y a de nombreux avantages à les utiliser par rapport aux magasins laboratoires physiques, l'un de ces avantages étant la possibilité de répéter l'expérience dans les mêmes conditions expérimentales. Cet avantage non négligeable devient essentiel lors d'études consommateurs avec des F&Ls ; car les F&Ls, s'ils sont réels, se dégradent (empêchant par exemple de réaliser des études sur plusieurs jours, ou même interdisant leur manipulation par les participants), sont coûteux (achat, stockage, mise en place, etc.), non contrôlables (empêchant de modifier les F&Ls à la volée), etc. Les magasins virtuels peuvent pallier à l'ensemble de ces défauts. Cependant, cela n'en fait pas forcément des outils totalement adaptés pour étudier les F&Ls. Il n'est par exemple pas possible de sentir et de manipuler les F&Ls en RV, deux sens que nous utilisons de manière quasiment systématique lors de l'achat des F&Ls. De plus, la qualité et la fraîcheur des produits frais (dont font partie les F&Ls) sont extrêmement importantes lors de l'achat des F&Ls et peut être difficile à retranscrire en RV. Il a également été montré que les magasins virtuels ont des biais de comportement, avec des dépenses plus haute que dans les magasins physiques, en particulier sur certains types de produits tel que les F&Ls [191].

C'est la raison pour laquelle il est également nécessaire de mettre en œuvre une problématique technique particulière liée à la mise en place d'un magasin virtuel proposant des F&Ls "moches". Il est en effet important de proposer des F&Ls 3D réalistes ayant des formes et couleurs non-standards, avec de plus une variabilité interindividuelle. À notre connaissance, les magasins virtuels existants pallient à cette difficulté soit (1) en ignorant les rayons frais, ce qui n'est pas possible ici ; (2) en dupliquant un modèle de F&L existant,

---

3. Nous simplifierons le terme "étude du comportement des consommateurs" par celui d'étude marketing.

ce qui ne nous permettrait pas de varier les degrés de “mochetés” et risquerait de nuire à l’immersion de notre environnement ou (3) en commissionnant un artiste 3D chargé de les réaliser, ce qui ne nous assurerait pas non plus une variation rapide et importante des degrés de “mochetés” des F&L.

Nous préférons dans cette thèse proposer une méthode de génération de F&Ls moches semi-procédurale, qui permet à l’utilisateur de décider des formes et couleurs générales des F&Ls, puis de lui permettre la possibilité d’automatiser leur génération en fonction de paramètres réglables par l’utilisateur.

Au cours de cette thèse, nous présenterons tout d’abord un état de l’art détaillant plus avant :

- Les F&Ls “non-moches” et “moches”, leur définition, labélisation et leur utilisation dans la grande distribution ;
- La RV et en particulier son utilisation dans les études de perception et de comportement d’achats de produits ;
- La génération des F&Ls dans l’informatique graphique.

Nous proposerons ensuite une méthode semi-procédurale de F&Ls moches se basant sur l’utilisation de Cylindres Généralisés (CGs) (pour générer les formes) et d’une série de systèmes de particules (pour générer la couleur) ; puis des études utilisateurs dans des magasins virtuels proposant ces F&Ls moches.

Nous proposons enfin trois études explorant la perception et le comportement des consommateurs face à l’achat de F&Ls : la première dans un magasin virtuel avec des F&Ls ayant différents degrés de déformation ; la deuxième faisant une comparaison entre un magasin physique, un magasin virtuel non immersif et un magasin virtuel immersif ; et finalement la troisième, qui ne se focalise pas sur les F&Ls mais s’intéresse à l’utilisation de la RV totalement immersive dans un magasin virtuel pour étudier l’effet de l’apparence de l’avatar sur le comportement du consommateur (il s’agit, à notre connaissance, de la première étude de ce genre).

# Chapitre 2 : État de l’art

Nous présentons dans cet état de l’art une section définissant les F&Ls “moches” (cf. Sec. 2.1) et une autre sur l’utilisation qui en est fait par les GMS (cf. Sec. 2.2). Nous présentons ensuite la RV et ses notions (cf. Sec. 2.3) puis les magasins virtuels (cf. Sec. 2.4). Finalement, nous présentons les méthodes actuelles pour générer de manière procédurale des F&Ls (cf. Sec. 2.5).

## 2.1 Définitions de Fruits et Légumes et de Fruits et Légumes moches

Avant de présenter l’impact des F&Ls moches dans les GMS, nous définissons dans cette section les termes F&Ls et F&Ls moches.

### 2.1.1 Définitions de Fruits et Légumes

Nous présentons dans cette sous-section les définitions de “Fruit” et de “Légume”. Il existe en effet deux définitions de ceux-ci : une courante et une botanique (cf. Tab. 2.1).

|                      | Fruit   | Légume   |
|----------------------|---|--|
| Définition courante  | “Produit comestible des végétaux que l’on consomme le plus souvent comme dessert” [39] (e.g. la banane, la cerise, la pêche, la poire, la pomme, l’orange, etc.).                                 | “Partie comestible d’une plante potagère” [40] (e.g. l’aubergine, la carotte, la laitue, le navet, le poireau, la tomate, etc.).                         |
| Définition botanique | “Organe végétal, issu du développement de l’ovaire fécondé, qui succède à la fleur et contient les graines nécessaires à la reproduction” [39] (e.g. l’aubergine <sup>1</sup> , la tomate, etc.). | “Fruit des légumineuses” [40] (les légumineuses sont des plantes dont le fruit est une gousse, e.g. soja, haricots, pois, pois chiche, lentilles, etc.). |

TABLE 2.1 – Définition courante et botanique de “Fruit” et de “Légume”.

La carotte, le navet, la laitue, le poireau, etc. ne sont donc pas des légumes au sens botanique, mais respectivement : la racine (ou tubercule de racine) d’une plante<sup>2</sup> de la famille des *Apiacées* ; le bulbe d’une plante<sup>3</sup> de la famille des *Brassicacées* ; les feuilles d’une partie des plantes de la famille des *Astéracées* ; la tige d’une plante<sup>4</sup> de la famille des *Amaryllidacées* ; etc.

L’ambiguïté entre ces définitions a fait l’objet de discussions constitutionnelles. En Europe, la directive 2001/113/CE [59] de la Commission Européenne assimile ainsi aux fruits “les tomates, les parties comestibles des tiges de rhubarbe, les carottes, les patates douces, les concombres, les citrouilles, les melons et les pastèques”.

Tout au long de cette thèse nous utiliserons la définition courante des F&Ls. Lorsque nous parlons de F&Ls nous évoquons donc des F&Ls de la définition courante (e.g. la carotte est un légume, la tomate est un légume, etc.).

---

1. L’aubergine est ainsi, à l’instar de la tomate, à la fois un fruit et à la fois un légume en fonction de la définition de fruit / légume choisie.

2. Le nom courant de cette espèce de plante est la “carotte”.

3. Le nom courant de cette espèce de plante est le “navet”.

4. Le nom courant de cette espèce de plante est le “poireau”.

## 2.1.2 Normes de qualité des Fruits et Légumes

Nous présentons dans cette sous-section les normes de qualité<sup>5</sup> des F&Ls. Les normes de qualité définissent les paramètres et degrés qualitatifs des F&Ls. Elles sont intégrées au sein des normes de commercialisation, qui définissent : “le type de F&Ls”<sup>6</sup> et les dispositions de qualité (i.e. les normes de qualité), de calibrage, de tolérance, de présentation et de marquage.

En France, c’est la Commission Européenne de l’UE (et éventuellement les accords interprofessionnels, cf. Sec. 2.1.2.1) qui décide des normes de commercialisation des F&Ls. La Commission Européenne travaille sur ces normes avec la Commission Européenne Économique de l’Organisation des Nations-Unies (CEE-ONU), qui définit les normes de commercialisation des F&Ls à l’échelle des Nations Unies. Ajoutons que l’OCDE conseille la CEE-ONU sur les normes de commercialisation des F&Ls. Nous présentons ces organismes ci-dessous (cf. Fig. 2.1).

### 2.1.2.1 Autorités chargées des normes de commercialisation

**La Commission Européenne.** La Commission Européenne possède une section spécialisée sur l’agriculture et le développement urbain. C’est celle-ci qui décide (sous réserve du vote du Parlement Européen) des normes de commercialisation des F&Ls en Europe (et donc en France). La majorité des types de F&Ls relève des normes de commercialisation dites générales. Les autres F&Ls (au nombre de 10, mais représentant 75% de la valeur des échanges des F&Ls dans l’UE [92]) relèvent des normes de commercialisation dites spécifiques. Pour les F&Ls relevant des normes de commercialisation générales, l’opérateur (c’est à dire l’exportateur, le vendeur, etc.) a le choix d’appliquer les normes de commercialisation de l’UE ou les normes de commercialisation de la CEE-ONU (considérées comme moins strictes [42]), tandis que pour les F&Ls relevant des normes de commercialisation spécifiques, l’opérateur doit appliquer les normes de commercialisation de l’UE [42].

---

5. Notons que (1) le terme “qualité” englobe un ensemble de paramètres visuels (e.g. netteté, propreté, etc.), olfactifs, gustatifs, sanitaires (e.g. présence de parasites ou d’attaques de parasites), etc. ; et (2) que si un F&L n’est pas conforme aux normes de qualité minimales de l’Union Européenne (UE), alors il ne peut pas être commercialisé en Europe et donc en France.

6. Notons que le terme “type de F&Ls” englobe l’ensemble des espèces d’un type de F&L commercialisable (e.g. les normes sur les pommes englobent l’ensemble des espèces commercialisables de pommes).

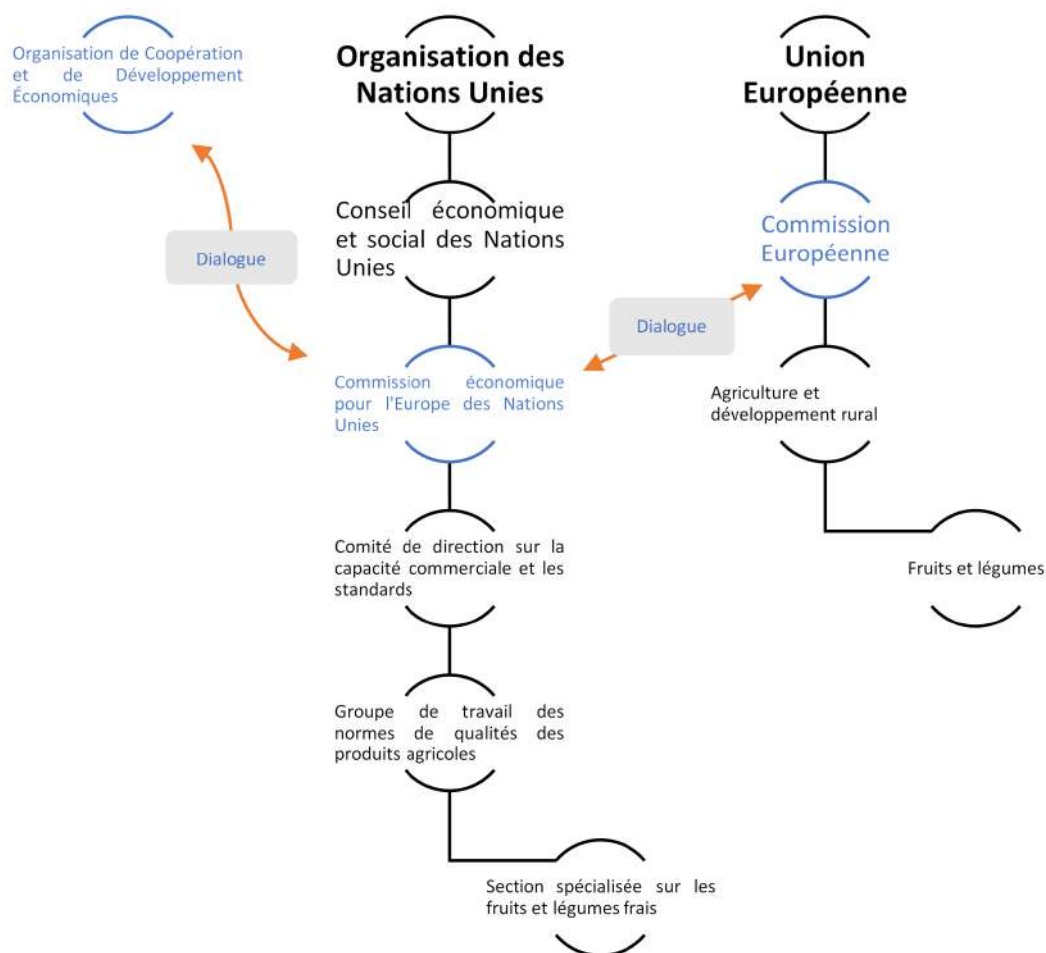


FIGURE 2.1 – Détails des organismes travaillant sur les normes de qualité des F&Ls. Le commerce des F&Ls étant international, il y a un dialogue entre l'Europe et les Nations Unies. Ce dialogue illustre le caractère international des normes de commercialisation des F&Ls, ainsi que l'une des problématiques soulevées par le gaspillage alimentaire : l'homogénéisation internationale de la normalisation requise des F&Ls.

### La Commission Économique Européenne de l'Organisation des Nations Unies.

La CEE-ONU possède un comité de direction sur la capacité commerciale et les standards. Ce comité est composé de plusieurs groupes de travail, dont le groupe de travail WP7, qui travaille sur les normes de qualité des produits agricoles. Celui-ci dispose d'une section spécialisée sur les F&Ls frais [45], qui travaille sur les normes de commercialisation des F&Ls. L'ensemble de ces normes de commercialisation sont accessibles sur le site de la CEE-ONU [181], et nous proposons au lecteur de se rapporter à la "Norme-cadre pour les fruits et légumes frais 2011" [181].

**L'Organisation de Coopération et de Développement Économique.** L'OCDE est une organisation internationale proposant à ses pays membres (35 pays, dont les États-Unis, la France, etc.) un ensemble de rapports sur des domaines économiques variés, dont



des rapports sur les normes de commercialisation des F&Ls. Ces rapports se basent sur les normes de commercialisation des F&Ls de la CEE-ONU auxquels ils ajoutent des explications et des illustrations. Ils sont accessibles sur le site de l'OCDE [138].

**Les accords interprofessionnels français.** Les membres de la filière F&Ls mettent en place des règles de commercialisation additionnelles plus strictes que celles de la CEE-ONU et de l'UE, comme le note Jeannequin et al. [92] (page 3) :

“De plus, pour la plupart des fruits et légumes produits en France, des accords interprofessionnels édictent des règles plus strictes que la réglementation en vigueur pour faciliter les relations commerciales. Pour ces raisons, il existe actuellement de nombreuses normes techniques pour les fruits et légumes frais [...], mais aussi des cahiers des charges de plus en plus contraignants au niveau de la production, du conditionnement, du stockage, de la mise en marché, du transport et de la distribution.”

Ces règles de commercialisation additionnelles sont “adoptées à l’unanimité des organisations professionnelles représentatives de la filière des F&Ls [...]” ; et deviennent obligatoires sur le territoire français si elles sont étendues par un arrêté interministériel [88].

Tout au long de cette thèse, sauf contre-indication explicite, nous utiliserons les normes de qualité des F&Ls de la CEE-ONU. Ces normes sont (pour la plupart des types de F&Ls) semblables à celles de l'UE et sont reprises dans les rapports de l'OCDE. Par souci de simplicité, nous ne différencions pas les normes de qualité des normes de commercialisation dites spécifiques de l'UE, car elles nous obligeraient à vérifier au cas par cas les F&Ls concernés et éventuellement à devoir développer des algorithmes de génération spécifiques pour ces normes.

### 2.1.2.2 Catégories de qualité des Fruits et Légumes

Les normes de commercialisation des F&Ls de la CEE-ONU possèdent un ensemble de dispositions dont celles de qualité, de calibrage et de tolérance. Les dispositions concernant

le calibrage<sup>7</sup> et les tolérances<sup>8</sup> sont dignes d'intérêt, mais nous nous intéresserons avant tout aux dispositions concernant la qualité. La section “dispositions concernant la qualité” est composée des sous-sections suivantes :

- Caractéristiques minimales. Ces caractéristiques s'assurent que le produit est apte à la consommation humaine (e.g. entier, sain, propre, exempt de parasites, pratiquement exempt d'attaques de parasites, sans odeur anormale, sans humidité anormale, etc.) ;
- Caractéristiques relatives à la maturité ;
- Classification :
  - Catégorie “Extra” (pas de défaut, à l'exception d'altérations superficielles, cf. Fig. 2.2) ;
  - Catégorie 1 (légers défauts de forme, coloration et d'épiderme, cf. Fig. 2.3 et Fig. 2.5) ;
  - Catégorie 2 (défauts de forme, coloration et d'épiderme, cf. Fig. 2.4 et Fig. 2.6).



FIGURE 2.2 – Carotte de catégorie “Extra”.

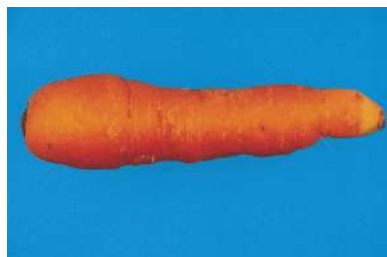


FIGURE 2.3 – Carotte de catégorie 1, limite de coloration.



FIGURE 2.4 – Carotte de catégorie 2, limite de coloration.

### 2.1.2.3 Tests de détermination de la qualité des Fruits et Légumes

Il existe de nombreux tests objectifs de détermination de la qualité des F&Ls, e.g. les tests mis en place dans les directives de l'OCDE [137]. Cependant seul le test basé sur des jauges de couleur peut-être réalisé dans une application de visualisation 3D, et il n'est utilisable que pour les pommes et les tomates. Nous préférons donc déterminer

7. Les intervalles de poids, de longueurs, etc.

8. Les dispositions concernant les tolérances donnent des intervalles de tolérances en fonction de la catégorie de qualité du produit (e.g. pour la catégorie 2 : “Une tolérance de 10% au total, en nombre ou en poids, de *nom du produit* ne correspondant pas aux caractéristiques de la catégorie ni aux caractéristiques minimales est autorisée” [181]).



FIGURE 2.5 – Carottes de catégorie 1, limite de forme

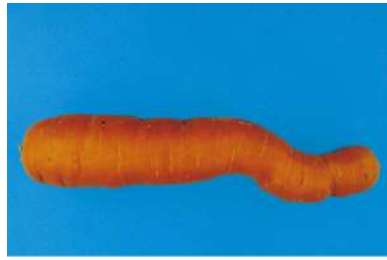


FIGURE 2.6 – Carotte de catégorie 2, limite de forme.

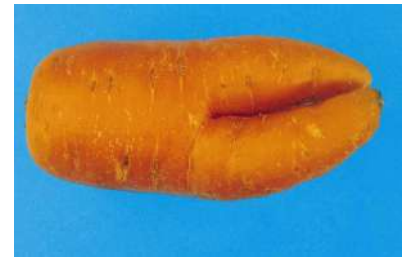


FIGURE 2.7 – Carotte fourchue exclue, car ne correspondant pas aux limites de forme minimales.

la qualité d'un F&Ls de manière subjective, en demandant aux participants de noter les F&Ls sur plusieurs critères, dont la couleur, la texture, etc.(cf. Sec. 4.2.6).

#### 2.1.2.4 Fruits et Légumes moches, définition

Soulignons 3 éléments importants concernant les normes-cadres (càd non spécifiques à un type de F&L) de commercialisation des F&Ls :

1. Les F&Ls ne remplissant pas les caractéristiques minimales ne peuvent pas être commercialisés en France ;
2. Les caractéristiques minimales n'ont pas de spécification de coloration, de forme et d'épiderme (mis à part de manière secondaire, e.g. si celui-ci est ou a été parasité ce qui affecte en conséquence l'épiderme) ;
3. Il n'y a pas (ou peu) d'exigence de calibrage pour les F&Ls de catégorie 2.

Donc, même s'il existe une homogénéisation dans la normalisation des F&Ls, il est permis de commercialiser des F&Ls non-standards en France (càd des F&Ls qui ne répondent pas aux standards de la grande distribution, cf. Fig. 2.6 et Sec. 2.1.2.1), à la condition qu'ils répondent aux normes de commercialisation minimales. Cependant, parce que notre thèse nécessite que nous proposons des F&Ls de formes variées, nous ne pourrions pas toujours respecter les normes de calibration minimales. Aussi, les normes minimales d'un type de F&L donné comportent parfois des caractéristiques que nous ne pourrions pas toujours respecter (e.g. la carotte ne peut pas être fourchue, cf. Fig. 2.7). *Autrement dit, même s'il n'est pas autorisé de commercialiser des F&Ls ne remplissant pas les normes de calibration minimales, nous considérerons, pour les besoins de l'étude, que cela est autorisé.*

Tout au long de cette thèse un F&L moche est défini comme un F&L qui répond aux normes de commercialisation minimales fixées par la CEE-ONU (hors exceptions, cf. ci-dessus) et de couleur ou forme non-standard. Les F&Ls moches que nous présenterons doivent donc être d'apparence “saine”, càd être visiblement aptes à la consommation (e.g. nous ne intéressons pas aux F&Ls parasités ou attaqués par des parasites ni aux F&Ls pourris), et avoir des couleurs ou des formes très variables. Nous utiliserons le terme “F&Ls non-standards” comme un synonyme de “F&Ls moches”.

## 2.2 Fruits et Légumes en Supermarché et Hypermarché

Nous définissons dans cette section ce que sont les “Supermarchés” et “Hypermarchés”, puis présentons les rayons F&Ls et les F&Ls moches dans les GMS.

En France, un supermarché est “un établissement de vente au détail en libre-service réalisant plus des deux tiers de son chiffre d'affaires en alimentation et dont la surface de vente est comprise entre 400 et 2 500  $m^2$ ” [87]. Un hypermarché est lui “un établissement de vente au détail en libre-service qui réalise plus du tiers de ses ventes en alimentation et dont la surface de vente est supérieure ou égale à 2 500  $m^2$ ” [86]. Le terme “GMS” lui, fait référence à un supermarché ou à un hypermarché [108]. Il nous arrivera également d'utiliser le terme “Magasin”, c'est à dire (càd) un commerce de vente au détail (de produits alimentaires ou non).

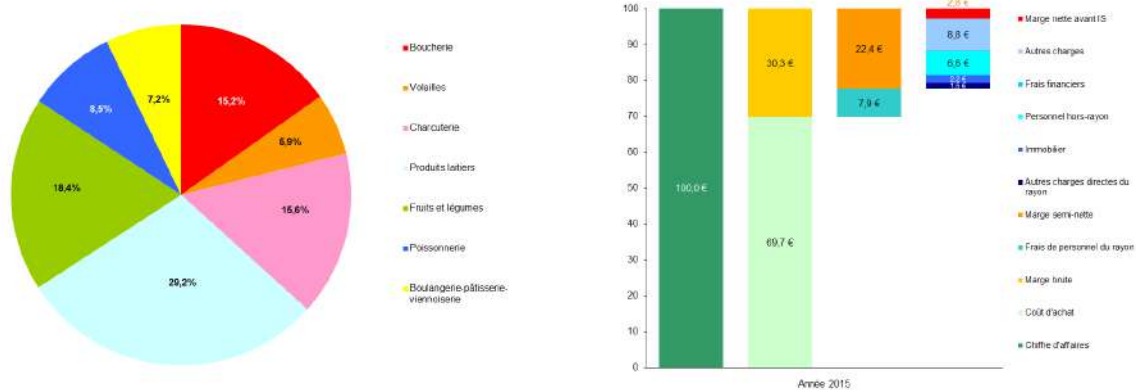
### 2.2.1 Les Fruits et Légumes frais en Grande et Moyenne Surface

Les rayons proposant des F&Ls frais sont essentiels dans les GMS, car ils disposent des caractéristiques suivantes :

**Importante part de marché.** En France les supermarchés et hypermarchés ont une part de marché de la vente de F&Ls au détail de 51% en 2014 et 60% en 2015 [69]. En Europe, elle est, en fonction des pays, entre 60% et 90% en 2016 [36].

**Marge élevée.** Le Chiffre d’Affaires (CA) de ce rayon est de 18.4% de l’ensemble des rayons frais [112] (2<sup>ème</sup> position parmi les rayons frais<sup>9</sup>), avec 22.4% de marge en moyenne (1<sup>ère</sup> position parmi les rayon frais), cf. Fig. 2.8.

**Importante fréquentation.** Plus de 99% des Français achètent des F&Ls (tous secteurs confondus) en 2014 [68], avec une fréquence d’actes d’achats moyenne<sup>10</sup> de 45.6 pour les fruits et de 50.7 pour les légumes [68]. Aux États-Unis, la fréquence d’actes d’achats moyenne pour les F&Ls est de 47 en 2015 [44].



(a) Le CA en pourcentage des rayons frais dans les GMS en 2017 [112]. (b) Le détail des marges du rayon F&Ls pour 100€ dans les GMS en 2017 [113].

FIGURE 2.8 – Données sur le CA et les marges du rayon F&Ls dans les GMS en 2017.

**Déterminant dans le choix de GMS.** Au delà des profits réalisés, les rayons F&Ls sont déterminants dans le choix de GMS des consommateurs. En Europe, la qualité des produits frais (e.g. F&Ls) est le critère le plus important dans le choix d’un GMS en 2016 [132] (cf. Fig. 2.9). Aux États-Unis, la qualité des F&Ls est pour le consommateur le 2<sup>ème</sup> facteur le plus important dans le choix du magasin en 2015 et le 1<sup>er</sup> en 2013 et 2014 [44, 174]. Toujours aux États-Unis, 36% des consommateurs des “supercenters” (i.e. des supermarchés discounts) changent de magasin parce que l’offre des produits frais est : (1) d’une qualité supérieure (pour 54%); (2) d’une variété plus importante (39%); et (3) bénéficie d’une meilleur publicité (pour 31%) en 2015 [44]. Ces données sont en lien avec Aggarwal et al. [5] qui montrent que la proximité des GMS n’est pas le facteur déterminant de l’accès à de la nourriture saine (e.g. F&Ls), mais qu’il s’agit d’un ensemble de facteurs

9. Les rayons proposant les produits frais suivants : F&Ls, viande, produits laitiers, poisson, pains / pâtisserie / viennoiserie

10. Le nombre d’achats sur 1 an.

personnels aux consommateurs (e.g. importance de la santé ; goût ; etc.). Ils montrent en particulier que le choix d'une GMS est fortement et significativement associé avec la consommation de F&Ls. Gustafson et al. [77] étaient arrivés à une conclusion similaire, en montrant que les consommateurs se rendent avant tout dans les GMS qui proposent des produits qui répondent à leurs besoins.



FIGURE 2.9 – Le pourcentage des sondés pour lesquels un critère a une forte influence dans leur choix de magasin d'après [132].

**Améliore l'image de qualité, de localité et d'accessibilité de l'enseigne.** Le rayon F&Ls, à l'instar des autres rayons frais, permet de cultiver l'image de la qualité et de l'ancrage local de l'enseigne [117]. Adams et Salois [4] suggèrent justement que les consommateurs tendent à privilégier les produits alimentaires locaux, ceux-ci étant perçus comme étant moins industrialisés. Les prix faibles des F&Ls soulignent l'accessibilité de l'enseigne [117].

## 2.2.2 Les Supermarchés, les Hypermarchés, et les Fruits et Légumes moches

Les nombreuses initiatives locales de ventes directes et d'Association pour le Maintien de l'Agriculture Paysanne (AMAP)<sup>11</sup> semblent remettre peu à peu en question l'homogénéisation des F&Ls réalisée par les grands distributeurs. En 2013/2014 en France, près de 8 personnes sur 10 [67] déclarent ainsi accorder de l'importance aux circuits de distribution et 6 sur 10 disent préférer l'achat des F&Ls en commerce de proximité plutôt qu'en GMS. Cependant en réponse à la question "Où faites-vous le plus souvent vos courses alimentaires pour votre foyer ?", la part des circuits courts (e.g. producteur ; en direct ; AMAP) pour les F&Ls est respectivement de 3% et 4%, en 2015 en France (cf. Fig. 2.10). Également, en réponse à "Quels sont tous les autres lieux où vous faites vos courses alimentaires ?", la part des circuits courts pour les F&Ls est respectivement de 17% et 16% (cf. Fig. 2.10).

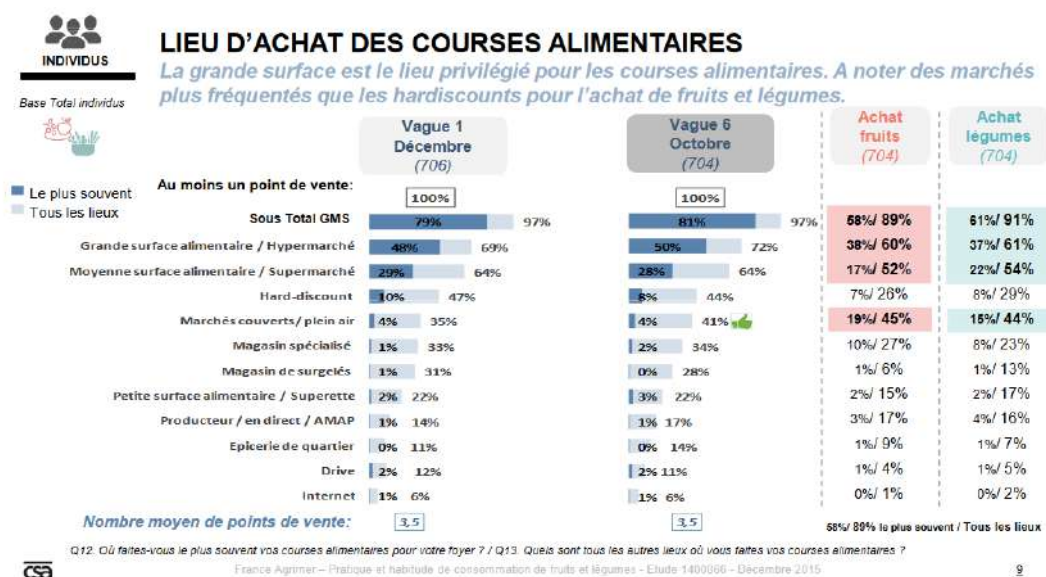


FIGURE 2.10 – Lieu d'achat des courses alimentaires, étude de FranceAgriMer [69].

La part des GMS en réponse aux mêmes questions est respectivement de (1) 58%, 61% et (2) 89%, 91%. Les GMS restent donc prédominants. Ils ont récemment proposé des actions pour vendre des F&Ls moches.

Parmi ces initiatives, la plus connue en France est celle des *fruits et légumes moches* d'Intermarché, la 3<sup>ème</sup> chaîne de supermarchés de France. Elle fait suite à la signature du

11. Une AMAP est un partenariat de proximité entre une ferme et un groupe de consommateurs [3]

pacte national contre le gaspillage alimentaire, signé par l'enseigne en juin 2013 [7]. Cette campagne s'est déroulée dans un seul magasin (Provin, 77), les 21 et 22 mars 2014 et proposait des F&Ls non-calibrés 30% moins cher. Malgré la portée locale de l'événement, le succès a été international ; l'agence Marcel WW (en charge de la communication de cette campagne) donne les chiffres suivants :

- 21 millions de personnes connaissaient la campagne après un mois ;
- 300% d'augmentation dans la mention d'Intermarché sur les réseaux sociaux après une semaine ;
- L'article le plus partagé dans l'histoire de *LSA Commerce & Consommation*, le premier magazine professionnel des commerçants ;
- +24% de trafic dans le magasin ;
- 5 concurrents ont ensuite lancé une offre similaire (au travers du collectif les "Gueules Cassées").

Vis à vis de la communication, le succès est immense. Ionis Brand Culture [89] met ainsi en avant qu'Intermarché s'est positionné comme "un acteur social défenseur d'une grande cause, celle de l'anti-gaspillage".

Ajoutons que ces initiatives sont maintenant faites en partenariat avec le collectif des "Gueules Cassées", que de nombreux grands acteurs de la distribution ont joints, tels que Intermarché, Auchan et Carrefour (Carrefour a de plus créé, en partenariat avec les Gueules Cassées, la marque "Antigaspi", la première marque anti-gaspillage au monde).



FIGURE 2.11 – Le logo des Gueules Cassées [110]



Les Gueules Cassées ont réalisé de nombreuses expérimentations et ont vendu en 2015 près de 10.000 tonnes de F&Ls moches [162]. Ce collectif s’est aujourd’hui diversifié, et propose d’autres aliments que les F&Ls, tels que la viande, le camembert, les biscuits, etc.

Si ces opérations ont beaucoup fait parler d’elles en 2014 et 2015, elles restent cependant très peu présentes dans les GMS, elles ne se sont pas inscrites dans la durée (e.g. des actions en 2014 et 2015 très temporaires, telles que lors de la journée de la lutte contre le gaspillage<sup>12</sup> et très localisées ; et très peu d’actions en 2016 et 2017).

Les GMS semblent donc se servir des actions “ventes de F&Ls moches”, comme une action de communication plutôt que comme une volonté réelle de proposer une offre de F&Ls moches. Ceci leur permet d’améliorer au moins temporairement leur image de qualité, de localité et d’accessibilité et de se placer comme un acteur social.

## 2.3 Réalité Virtuelle, présence, immersion et incarnation

Après avoir présenté les F&Ls “moches” ainsi que leur utilisation au sein des GMS, nous nous concentrons sur un sujet différent, mais essentiel à cette thèse, celui de la RV. Nous présentons ci-après la RV ainsi que ces notions majeurs.

Ivan Sutherland est considéré comme l’un des pères historiques de la RV. Il marqua l’avènement en 1962<sup>13</sup> de l’Interface Homme Machine (IHC) [130] et développa en 1968 le 1<sup>er</sup> visiocasque (Head Mounted Display (HMD) en anglais). Alors surnommé l’épée de Damocles - *the sword of Damocles* [34] en version originale -, il possédait une vision stéréoscopique et un système de suivi de tête mécanique. Ce n’est cependant qu’en 1986 que le terme “Réalité Virtuelle” fut utilisé la 1<sup>re</sup> fois [163]. Le terme RV est resté, même si ses définitions originelles, alors très orientées par les outils utilisés (e.g. “*la réalité virtuelle est une simulation électronique d’environnements que l’on expérimente à travers un HMD et des vêtements connectés permettant à l’utilisateur d’interagir dans des simulations 3D réalistes*” [41], traduit de l’anglais), ont été critiquées par la communauté scientifique [175].

---

12. Le 16 Octobre chaque année.

13. Avec son invention : Sketchpad [177].

Il n'existe aujourd'hui pas de définition universelle de la RV. On retrouve cependant l'idée que la RV est un ensemble de technologies numériques permettant la simulation d'un environnement 3D dans lequel l'utilisateur peut interagir de manière naturelle. Nous donnons ci-dessous un exemple d'une telle définition :

“Le but de la Réalité Virtuelle est de faire percevoir à un utilisateur un monde artificiel (créé numériquement) et de donner à cet utilisateur la possibilité d'interagir intuitivement et naturellement avec ce monde” [47].

Sont souvent associées à la définition de RV les notions de présence, d'immersion et, en fonction du type d'immersion, d'incarnation virtuelle (*embodiment* en anglais<sup>14</sup>). Nous présentons ces notions ci-dessous :

### 2.3.1 Présence

Il existe de nombreuses définitions de la présence, mais la communauté scientifique s'accorde sur le fait qu'il s'agit de “la perception psychologique d'être “là”, à l'intérieur de l'environnement dans lequel on est immergé”. Schuemie [164] propose un état de l'art (de 2001) sur la présence, et nous invitons le lecteur à s'y rapporter. Nous reprenons ci-après une partie des conclusions de cet état de l'art :

- La présence est causée par un ensemble de facteurs liés à la qualité de l'immersion (cf. Sec. 2.3.2 pour des détails sur l'immersion) et aux préférences de l'utilisateur. Au delà de la perception psychologique d'être “là” (et donc de montrer que l'environnement virtuel est perçu comme un “endroit” plutôt que comme une série d'images [168]) et donc d'être l'un des éléments nécessaires à la réponse réaliste d'un utilisateur dans un Environnement Virtuel (EV) [167] (les autres étant l'immersion et le fait que EV soit “scénaristiquement crédible”), la présence a une utilité incertaine à elle seule.
- La présence se mesure à l'aide de questionnaires subjectifs. Il existe des méthodes plus objectives basées sur des mesures comportementales (e.g. la réaction d'un participant à un événement dans l'EV [165]) ou basées sur des mesures physiologiques

---

14. Notons que de nombreux termes utilisés dans cette sous-section sont des concepts dont la portée est limitée à la communauté scientifique. Ces concepts ont été introduits en anglais (e.g. Sense Of Embodiment (SoE), Self-location, etc.) et n'ont pas tous, à notre connaissance, de traduction française acceptée par la communauté scientifique. Nous présenterons leur expression en français puis en anglais, et utiliserons leur expression française dans le reste de la thèse.

(e.g. la réponse de la conductivité cutanée [127]), mais ces méthodes plus objectives sont critiquées et peu utilisées. Les questionnaires existants sont intimement liés à la définition de la présence utilisée par leur(s) auteur(s), et il convient de choisir le plus adapté aux besoins de l'étude. Nous utiliserons au cours de cette thèse le "Slater-Usuh-Steed questionnaire" [171] (6 items), ayant l'avantage d'être court, et le "Présence Questionnaire" [198] (32 items), ayant l'avantage d'être exhaustif. Van Baren et IJsselsteijn [182] présentent un état de l'art exhaustif (de 2004) sur les mesures de présence et nous invitons le lecteur à s'y rapporter.

### 2.3.2 Immersion

Il existe deux définitions de l'immersion. L'une la définit comme "un état psychologique caractérisé par le sentiment d'être inclus dans - et d'interagir avec - un environnement produisant un flux continu de stimuli" [198]. Cet état dépend des caractéristiques techniques des outils utilisés. L'autre définit l'immersion comme "l'ensemble des caractéristiques techniques des outils utilisés produisant des sensations sensorielles" [104]. Nous utiliserons la seconde, plus commune.

Au delà de l'impact que l'immersion a sur la présence [48], un système avec une haute immersion (e.g. un HMD) permet d'obtenir une meilleure compréhension spatiale de l'EV qu'un système avec une faible immersion (e.g. un écran d'ordinateur) [28]. De plus, parce que l'immersion est un ensemble de caractéristiques techniques, elle est aisément mesurable. On peut ainsi affirmer qu'un HMD actuel (e.g. Oculus CV1, Vive, Playstation VR Headset, etc.) a une meilleure immersion visuelle<sup>15</sup> qu'un écran d'ordinateur (respectivement présence contre absence de stéréoscopie, présence contre absence de suivi des mouvements de tête, etc.).

---

15. Notons que la vue est le sens le plus utilisé en RV. Bowan et Mc Mahan [28] présentent une liste non exhaustive des composants de l'immersion visuelle : le champ de vision, la taille de l'écran, la résolution de l'écran, la fréquence de rafraîchissement de l'écran, la présence de stéréoscopie, la présence de suivi des mouvements de tête, etc.

### 2.3.3 Réalité Virtuelle et Réalité Virtuelle Immersive

Dans la communauté scientifique de la RV, on utilise le terme Réalité Virtuelle Immersive (RVI) pour désigner les simulations avec une haute immersion<sup>16</sup>. Incidemment, la RVI a une définition plus acceptée dans la communauté scientifique que celle de RV : “la réalité virtuelle immersive est l’ensemble des sciences et technologies requises pour qu’un utilisateur, via une immersion perceptive, cognitive et fonctionnelle ainsi que via l’interaction, se sente présent dans un environnement généré par l’informatique.” [145]. On utilise aussi le terme “réalité virtuelle totalement immersive” (*fully immersive virtual reality* en anglais, à défaut d’un terme plus universel), pour désigner les simulations avec une haute immersion dans lesquelles l’ensemble des mouvements de la personne est capturé [145]. Spanlang et al. [173] détaillent un tel système et nous invitons le lecteur à se reporter à leur article.

Provoquer de la présence et d’immersion en RV peut se faire avec de la RV non immersive. Cependant, l’incarnation se fait typiquement en réalité virtuelle totalement immersive.

### 2.3.4 L’incarnation Virtuelle

L’incarnation en RV (aussi appelée incarnation virtuelle) est “le procédé physique employant des technologies de RV pour substituer le corps réel d’une personne avec un corps virtuel.” [173]. L’un des modèles théoriques de l’incarnation (à notre connaissance le seul en RV) est le “Sentiment d’Incarnation (SI)” (le *sense of embodiment* en anglais), c’est à dire : “le sentiment qui émerge lorsque les propriétés du corps virtuel incarné sont intégrées comme si elles étaient les propriétés du corps réel” [99]. Le SI dépend de 3 “sensations” [99] :

- **La sensation de “localisation personnelle”** (*self-location* en anglais), c’est à dire l’expérience spatiale que l’on ressent à l’intérieur d’un corps (virtuel ou non). Il s’agit d’une expérience spatiale différente de celle que l’on ressent à l’intérieur d’un environnement (virtuel ou non). La localisation personnelle est principale-

---

16. Notons que dans la communauté scientifique de la RV, il est normal de considérer que la RV est, par défaut, hautement immersive, auquel cas le terme RV est interchangeable avec la RVI. Nous préférons faire la distinction.

ment déterminée par la perspective visuelle [57, 21], mais aussi par le système vestibulaire [115] et les stimuli sensoriels [109] ;

- **La sensation d’“agentivité”** (*agency* en anglais), c’est à dire l’impression d’avoir le contrôle de ses actions (e.g. le contrôle de ses mouvements). Cette sensation est provoquée lorsqu’il y a une correspondance entre les conséquences attendues et les conséquences réelles d’une action [50, 51] ;
- **La sensation de “possession du corps”** (*body ownership* en anglais), c’est à dire s’attribuer un corps (virtuel ou non) comme étant le sien. C’est le sentiment que le corps est la source des sensations ressenties [179]. Cette sensation émerge d’une combinaison d’influences liées à la proprioception visuelle<sup>17</sup> (e.g. une corrélation entre la perception visuelle et tactile) [24] et aux similarités morphologiques [123, 120].

Les illusions liées à l’incarnation d’un corps virtuel (*virtual Body Ownership Illusions* (*BOI*) en anglais) peuvent se manifester lors de l’incarnation virtuelle. Nous les présentons ci-dessous.

#### 2.3.4.1 Les illusions et l’incarnation virtuelle

Ces illusions provoquent une association entre le corps (ou une partie du corps) réel et le corps (ou une partie du corps) virtuel. Lanier a été le premier à explorer ce concept en RV dans les années 1980, en étudiant la flexibilité humanoïde [105] (*homoncular flexibility* en anglais), c’est à dire le fait d’incarner un corps humanoïde “étrange” (e.g. un corps humanoïde à 6 bras) tout en étant capable d’interagir avec l’EV.

**Illusions à l’aide d’un mannequin.** À partir des travaux de Lanier, Botvinick et Cohen ont développé l’illusion de la main en caoutchouc (Rubber Hand Illusion (RHI) en Anglais) [27]. Cette illusion se manifeste lorsqu’une des mains du participant et une fausse main reçoivent des stimuli identiques et synchrones (e.g. une plume frôle la vraie main et une autre plume frôle la fausse main de manière identique et synchrone), ce qui pousse le participant à associer sa vraie main avec la fausse main (cf. Fig. 2.12).

Le protocole expérimental de la RHI de Botvinick et Cohen [27] est le suivant : le

---

17. La proprioception est la perception, consciente ou non, de la position des différentes parties du corps

participant, assis sur une chaise, à sa main gauche posée le long d'une table. Un panneau est placé au niveau du bras gauche du participant, afin qu'il ne puisse pas voir sa main gauche. Une main gauche et un bras gauche en caoutchouc (visuellement réalistes) sont placés sur la table en face du participant, de telle sorte que le participant ait l'impression que le bras en caoutchouc est rattaché à son épaule gauche. Le participant doit ensuite fixer pendant 10 minutes la main en caoutchouc tandis que l'expérimentateur, à l'aide de 2 pinceaux, caresse en même temps la main gauche réelle du participant et la main en caoutchouc. Le participant répond ensuite à un questionnaire de 9 questions.

Cette illusion n'est pas limitée à la main et a été répliquée entre le corps d'un participant et celui d'un mannequin [151, 152].

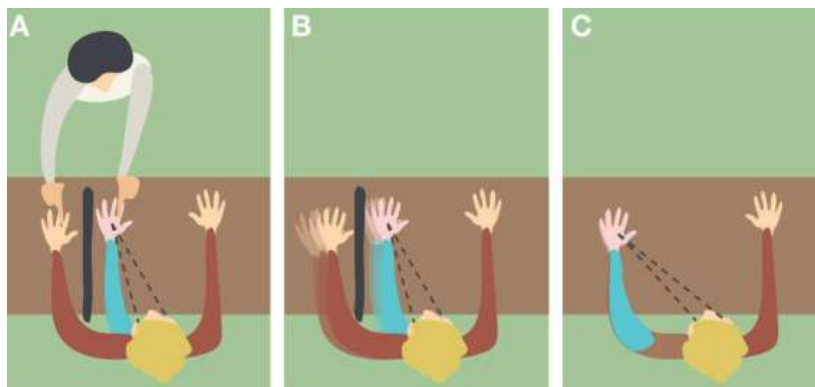


FIGURE 2.12 – Différentes méthodes pour induire les illusions liées à l'incarnation d'un corps virtuel (image de Kilteni et al. [100]). Ces méthodes sont dérivées de la RHI. Image A : Un événement visio-tactile similaire à la RHI. Image B : Un événement visio-moteur (lorsque le participant fait un mouvement avec sa main réelle [bras rouge], il voit sa main virtuelle [bras bleu] faire le mouvement). Image C : Un événement visio-proprioceptif (les mains réelle et virtuelle du participant sont à/dans la même position, mais la main réelle est couverte par la main virtuelle (à l'aide d'un gant par exemple [146])).



FIGURE 2.13 – Un exemple de RHI en RV (image de Slater et al. [167]). L'expérimentateur touche la main réelle avec une fausse balle, tandis qu'au même moment le participant voit la balle virtuelle toucher sa main virtuelle.

**Illusions à l'aide de la RV.** La RHI a été répliquée en RV [166, 167, 204, 150] (cf. Fig. 2.13) puis étendue à un corps virtuel [170]. Maselli et Slater [123] ont montré que les BOIs virtuelles peuvent se manifester sans stimuli synchrones, à condition que le corps virtuel soit (1) “convaincant”<sup>18</sup> (e.g. qu'il soit habillé ; qu'il ait une couleur de peau plausible ; etc.) ; et (2) dans une posture similaire à celle du participant. Ils ont aussi

18. Notons que cela ne veut **pas** dire que le corps virtuel doit être hautement réaliste [121, 120].

confirmé que la vue à la première personne est nécessaire pour manifester les BOIs (i.e. la vue à la première personne est nécessaire pour provoquer une sensation de localisation personnelle, qui aide à provoquer l’incarnation, qui aide à provoquer les BOIs, voir ci-dessous).

#### 2.3.4.2 Les “illusions virtuelles” et les changements de comportements et de perceptions

Plusieurs études ont montré que sous l’influence des BOIs virtuelles, les participants associent le corps virtuel avec leur corps réel [170, 123], ce qui est ensuite susceptible de provoquer des changements cognitifs [147, 73, 18]; de perceptions [134, 101]; et de comportements [14, 98, 169]. Nous discutons ci-dessous de ces changements.

**Changements de comportements.** L’incarnation peut provoquer deux concepts différents : (1) le concept de “perception sociale de sa personne” (*social self-perception* en anglais), où l’on conforme son comportement au comportement que les autres (i.e. l’environnement social) attendent que l’on ait avec le corps que l’on a [202]; et (2) le concept de “perception de sa personne” (*self-perception* en anglais) où l’on conforme son comportement avec le type de corps que l’on a, sans aucune considération sociale [169]. Ces concepts sont différents, mais provoquent chacun des changements de comportements.

Yenn et Bailenson [202] ont montré que, lorsque l’on est incarné dans un corps virtuel, des changements significatifs et instantanés peuvent avoir lieu lors d’interactions sociales dans la “représentation de sa personne” (*self-representation* en anglais). Ces changements peuvent nous amener à intégrer le comportement suggéré par le corps virtuel, un phénomène appelé “l’effet Proteus” (*Proteus effect* en anglais). Dans un environnement virtuel immersif (cf. Sec. 2.3.3), les auteurs ont montré que les participants incarnés dans un corps virtuel avec un visage attractif (groupe A) se tiennent plus proches lorsqu’ils/elles parlent à des membres du sexe opposé que les participants incarnés dans un corps virtuel avec un visage non attractif (groupe B), cf. Fig. 2.14. De plus les participants du groupe A donnent davantage d’informations personnelles que ceux du groupe B. Ils ont ensuite montré que les participants incarnés dans un corps virtuel de grande taille sont plus confiants lorsqu’ils/elles négocient avec quelqu’un que les participants incarnés dans

un corps virtuel de taille normale.

Kiltēni, Bergström and Slater [98] ont montré que les BOIs virtuelles peuvent : (1) être provoquées même si le corps réel et le corps virtuel sont de différents groupes ethniques (e.g. personne de peau claire incarnés dans un avatar de peau foncée), confirmant ainsi les résultats de Groom et al. [75] ; (2) provoquer des changements de comportements ; (3) faire en sorte que la force de ces changements soit corrélée positivement avec la force des BOIs. Dans un EV totalement immersif (cf. Sec. 2.3.3), ils ont montré que les participants (tous caucasiens) incarnés dans un corps à la tenue décontractée et à la peau foncée exhibent davantage de mouvements lorsqu'ils jouent du tambour-parlant<sup>19</sup> comparés aux participants incarnés dans un corps à la tenue formelle et à la peau claire (cf. Fig. 2.15).

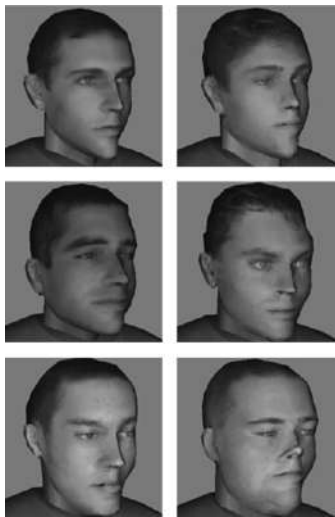


FIGURE 2.14 – Les différents visages masculins utilisés par Yenn et Bailenson [202]. Les visages notés les plus attractifs sont les plus en haut.

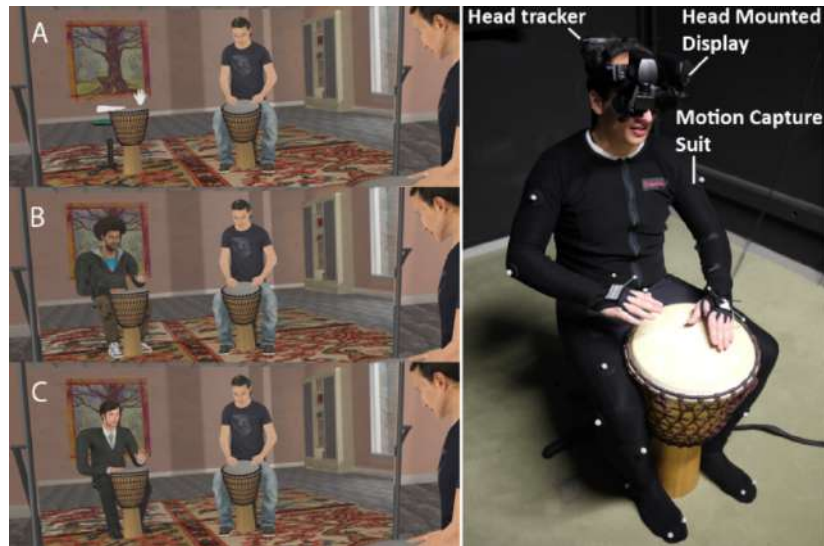


FIGURE 2.15 – À gauche, les différents corps virtuels utilisés par Kiltēni, Bergström and Slater [98] (image A : corps invisible à l'exception des mains ; image B : corps à la peau foncée, tenue décontractée [groupe CD] ; image C : corps à la peau claire, tenue formelle [groupe FD]). À droite un participant en train de réaliser l'expérience.

**Changements de perceptions.** L'incarnation peut également provoquer des changements de perception. Banakou, Groten et Slater [14] ont ainsi montré que l'âge perçu du corps incarné peut influencer la perception que l'on a de la taille des objets. Dans un environnement virtuel totalement immersif, les participants incarnés dans un corps d'enfant (groupe C) surestiment davantage la taille des objets que les participants incarnés dans un corps d'adulte de la même taille que le corps du groupe C (cf. Fig. 2.16).

19. Un tambour d'Afrique de l'Ouest.



De plus, Peck et al. [147] ont observé que les participants à la peau claire incarnés dans un corps à la peau foncée (cf. Fig. 2.17) ont un biais racial temporairement réduit envers les personnes à la peau foncée, y compris après avoir quitté l'EV. Ils expliquent que l'incarnation a temporairement transféré le sentiment d'affiliation de groupe des participants, en le transférant du groupe de personnes à la peau claire vers le groupe de personnes à la peau foncée, ce qui en retour diminue le biais racial envers les personnes à la peau foncée. Ils ont également noté que seules quelques minutes d'exposition sont nécessaires pour observer cet effet. Banakou et al. [15] ont étendu ces résultats et montré que la diminution du biais racial est visible une semaine après l'incarnation et qu'une seule incarnation (d'au moins 10 minutes) est suffisante.

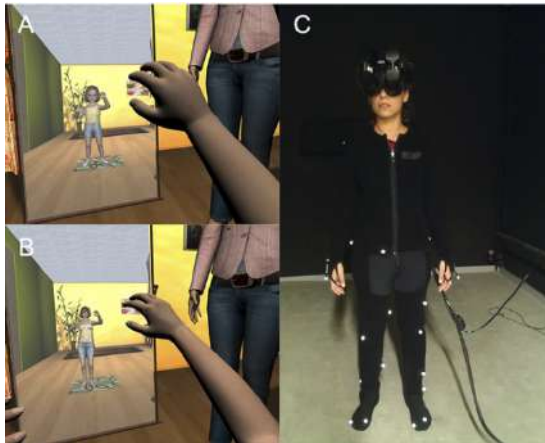


FIGURE 2.16 – A gauche, les différents corps virtuels utilisés par Banakou, Groten et Slater [14] (image A : corps d'enfant [groupe C] ; image B : corps d'adulte de même taille que le groupe C. A droite un participant en train de réaliser l'expérience.



FIGURE 2.17 – Différents corps virtuels utilisés par Peck et al. [147]. A gauche le corps à la peau claire ; à droite le corps à la peau foncée.

## 2.4 Magasins Virtuels dans le Marketing

Après avoir présenté la RV, nous nous concentrons maintenant sur les magasins virtuels dans le marketing, la manière dont ils sont utilisés, leurs avantages et inconvénients ainsi que les études comparatives existantes entre les magasins virtuels et réels.

Avec la mise sur le marché des HMDs à destination du grand public (Samsung VR en 2015 ; Oculus CV1 en 2016 ; etc.), les magasins virtuels immersifs se sont récemment développés.

Leur usage est encore limité pour les consommateurs<sup>20</sup>, cependant les chercheurs et professionnels en marketing les utilisent parfois, et ce principalement pour : (1) planifier la disposition d'un point de vente dans un magasin réel ; et (2) étudier le comportement des consommateurs dans des EV. Nous présentons ci-dessous les avantages et inconvénients des magasins virtuels.

### 2.4.1 Les magasins virtuels

Les magasins virtuels immersifs restent tout de même, dans l'ensemble, encore peu utilisés, et la majorité des magasins virtuels sont non immersifs. Nous présentons ci-dessous les magasins virtuels immersifs puis les magasins virtuels non immersifs.

#### 2.4.1.1 Magasins virtuels immersifs

Dassault Systèmes développe une solution pour configurer son magasin en utilisant un magasin virtuel appelé “Perfect Shelf” [49], cf. Fig. 2.18. L'une des principales limites de cette solution est qu'elle ne supporte que des produits identiques l'un à l'autre et ne peut donc pas être utilisée pour les rayons frais (e.g. rayon F&Ls, poissonnerie, charcuterie, etc.). Les avantages mis en avant par l'équipe de Perfect Shelf sont les suivants [49] :

- Améliorer les ventes [...] grâce à des décisions [...] lors du processus de planification ;
- Améliorer la collaboration entre le fabricant et le détaillant [...] ;
- Assurer une mise en rayon rapide [...] ;
- Améliorer la conformité, l'exécution et l'expérience en magasin [...] ;
- Réduire le coût total de possession [...], réduire les délais de mise sur le marché et optimiser l'exécution en magasin.

20|20 Research [1], une société spécialisée en recherche qualitative, développe un magasin virtuel immersif similaire à ceux proposés par Perfect Shelf. Les avantages de ce magasin mis en avant par 20|20 Research sont les suivants :

- Suivre le regard et les actions des participants ;
- Déclencher des événements en fonction de l'action des participants.

---

20. Notons que le nombre de HMDs présents dans le monde est de 6.3M [187] en 2016 et est estimé à 37M en 2020 (sans compter les “Google cardboards et autres HMDs en carton”, vendus à 88M d'unités en 2016 [82]).



FIGURE 2.18 – Le logiciel PerfectShelf.



FIGURE 2.19 – Le magasin virtuel d’InContext Solutions. Une boîte de céréales a été sélectionnée.

#### 2.4.1.2 Magasins virtuels non immersifs

Les magasins virtuels non immersifs proposent des effets similaires aux magasins virtuels immersifs (sans l’immersion et les notions liées à la RVI). Par exemple L’Oréal a développé son propre magasin virtuel (le “Beauty Lab”) [126] afin d’accélérer la mise en rayon des nouveaux produits. Le procédé classique (sans magasin virtuel) demande normalement plusieurs mois, en nécessitant par exemple de construire un nouveau rayon pour accueillir ces produits. Cependant le temps a été réduit à quelques semaines avec le magasin virtuel, car il a permis de réaliser la construction physique et la prise de décision au même moment [155]. InContext Solutions [85] propose une solution de mise en place de magasins virtuels et met en avant des avantages similaires à Perfect Shelf (cf. Fig. 2.19). Ils ont ainsi fait économiser à l’un de leurs clients anonymes 37 semaines dans la conception de son étude utilisateur (par rapport au réel) et 135.000\$ dans l’étude utilisateur (par rapport au réel) [84]. Gorilla in the Room [74] ont eux développés un magasin virtuel légèrement différent. Ils ont utilisé un ensemble de vidéos à 360° visibles à l’aide du Google Cardboard (cf. Fig. 2.20). Cette approche ne permet pas d’utiliser l’ensemble des avantages de la RV (immersive ou non), car il est nécessaire de posséder un magasin réel pour réaliser les vidéos, mais permet d’en utiliser certains comme la rapidité de réalisation de l’étude. Les participants qui ont répondu à l’enquête sur l’utilisation de ces vidéos ( $N = 750$ ) ont trouvé l’expérience intéressante (70%), amusante (75%) et facile à utiliser (68%) [74].

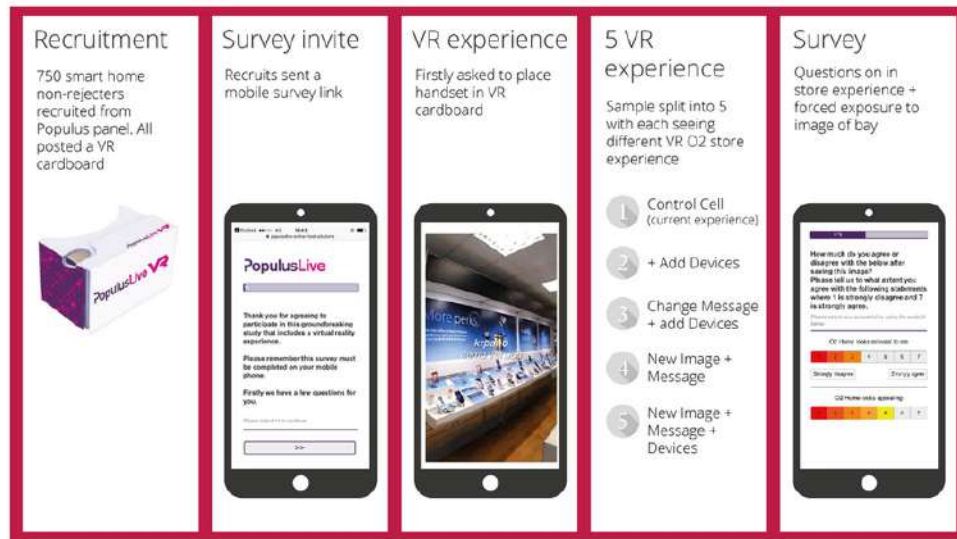


FIGURE 2.20 – La mise en place d’une étude utilisateur en RV par Gorilla in The Room [74].

#### 2.4.1.3 Avantages et inconvénients des magasins virtuels

Les avantages présentés par l’équipe de Perfect Shelf et la société 20|20 Research sont donc communs aux magasins virtuels immersifs ou non immersifs. In-Store Marketing Institute Insights [83] présente une liste de leurs avantages et inconvénients. Nous les reprenons ci-dessous :

##### — Avantages

- Réduction des coûts. Le développement initial de tests virtuels ajoute un coût supplémentaire (entre 10.000\$ et 20.000\$), mais reste cependant moins cher que les tests non virtuels ;
- La flexibilité ;
- La rapidité des tests. La mise en place initiale des tests peut prendre plusieurs semaines de plus (principalement à cause de la construction 3D des éléments) que les tests traditionnels, mais leur utilisation est plus rapide ;
- Le contrôle de l’environnement et des interactions ;
- L’observation de données supplémentaires. Le coût des tests dans un magasin réel est élevé, incontrôlable, etc. Il est par contre possible de simuler le réel en virtuel, ce qui offre la possibilité de mesurer d’autres types de données ;
- La confidentialité. De nombreux spécialistes soulignent l’anonymat que leur procurent les magasins virtuels. Cela leur permet (1) de conduire les tests hors-

magasins et donc hors de la vue des concurrents, et (2) d'éviter de potentiels problèmes avec leur distributeur si le test en magasin ne fonctionne pas.

— **Inconvénients**

- Le coût de mise en place. Le coût de mise en place d'un magasin virtuel complet pour d'importants projets peut avoisiner la centaine de milliers de dollars et aller jusqu'à plusieurs millions de dollars ;
- Difficulté technique de mise en place. Les magasins virtuels demandent des technologies que les acteurs ne maîtrisent pas toujours ;
- Le manque d'échelle standard. Parce qu'il s'agit d'une pratique relativement récente, les chercheurs n'ont pas autant d'expérience et de données pour analyser les résultats que dans les tests standards ;

Parmi les inconvénients, ajoutons que l'utilisation d'un magasin virtuel immersif engendre de la fatigue visuelle et peut susciter des maux de têtes ce qui diminue le temps d'exposition des participants (le cybermalaise).

## 2.4.2 Magasins Virtuels dans la recherche marketing

Les études existantes ont principalement utilisé la RV non immersive. Ajoutons que, à notre connaissance, aucun magasin virtuel n'intègre de produits frais avec lesquels il est possible d'interagir à part ceux de Waterlander et al. [194, 195, 191], qui proposent des F&Ls, cependant ces F&Ls ne présentent pas de variabilités (un seul modèle 3D est utilisé pour chaque type de F&Ls). Par conséquent, même si les magasins virtuels sont utilisés en recherche marketing, ceux-ci sont dans leur majorité non-immersifs et ne proposent pas de produits frais. Nous les détaillons cependant plus avant ci-dessous.

### 2.4.2.1 Planifier la disposition d'un point de vente dans un magasin virtuel

Pantano et Servidio [143] ont étudié la manière dont un point de vente à l'intérieur d'un magasin virtuel influence la perception et la satisfaction des participants ( $n = 150$ ). Ils ont utilisé un magasin virtuel de vêtements, visible sur un écran 3D stéréoscopique et ont montré que la satisfaction des participants vis à vis de l'introduction d'un EV immersif dans un point de vente traditionnel est influencée par 3 dimensions : (1) la perception de la facilité d'utilisation de l'outil ; (2) la satisfaction donnée (i.e. est-ce que la tâche est

agréable à réaliser ?) ; et (3) la perception de ce magasin virtuel (e.g. est-ce que ce magasin virtuel est pratique ?).

Papagiannidis et al. [144] ont étudié les déterminants principaux d'une expérience utilisateur dans un magasin virtuel non immersif de vêtements, puis montré l'impact de cette expérience sur l'engagement des utilisateurs ( $n = 150$ ). Ils ont proposé plusieurs modèles caractérisant les déterminants (e.g. engagement, satisfaction, plaisir, etc.) de cette expérience utilisateur et ont trouvé que le niveau de contrôle, la vivacité des couleurs et la précision des graphismes (e.g. l'authenticité des modèles) affecte l'expérience utilisateur positivement et accroît le niveau d'engagement. Ils ont également mis en évidence l'importance de la satisfaction des participants dans l'intention d'achat dans un magasin virtuel.

Wu et al. [201] ont étudié l'effet qu'avaient 3 magasins virtuels non immersifs de vêtements, vis à vis de : l'intérêt des participants dans le magasin ; de leur plaisir dans le magasin ; de leur intention d'achats ; et de leurs comportements d'achats ( $n = 145$ ). Chaque magasin avait une façon différente de grouper les vêtements : par couleur (chaude / froide) ; par texture (légère / épaisse) ; et par style (vêtements pouvant / ne pouvant pas être portés ensemble). Ils ont montré que : les participants dans le magasin organisé par style dépensaient significativement plus que les participants des autres magasins ; et que les participants dans le magasin "couleur" avaient significativement plus de plaisir, plus d'intérêt et d'intentions d'achats que les sujets des autres magasins. L'agencement des produits provoque donc des réactions différentes chez les participants dans les magasins virtuels.



FIGURE 2.21 – Interaction de l'utilisateur avec le magasin virtuel utilisé par Pantano et Servidio [143].



FIGURE 2.22 – Le magasin virtuel utilisé par Papagiannidis et al. [144].



FIGURE 2.23 – Le magasin virtuel utilisé par Wu et al. [201].

### 2.4.2.2 Réaliser une étude marketing dans un Magasin Virtuel

Dans la recherche marketing, des études utilisant des magasins virtuels ont été réalisées sur les effets du prix d'achat des boissons sucrées [192] ; sur l'effet de la réduction du prix des fruits et légumes [194] ; sur l'impact de la visibilité des paquets de cigarettes ainsi que des messages de santé sur les paquets de cigarettes sur le comportement d'achat de ces paquets [102] ; etc. Nous nous concentrons cependant sur celles en lien avec la nourriture et les produits frais.

Waterlander et al. [194] ont utilisé un magasin virtuel non-immersif en ligne (présenté en [193] et en [194]) pour étudier la réaction des participants à des produits alimentaires (dont des F&Ls) dont les prix ou étiquettes sont variables. Les participants ( $n = 115$ ) ont acheté des produits dans ce magasin virtuel et les auteurs ont vérifié comment une baisse de 25% du prix des F&Ls (condition pour 63 participants) affecte leurs achats. Cette étude n'était pas limitée aux F&Ls frais, mais à un large panel de produits, incluant des F&Ls surgelés et des F&Ls en boîtes. Les résultats ont montré qu'une baisse de prix de 25% entraîne une augmentation du nombre de F&Ls achetés, et que cette augmentation n'est pas accompagnée d'une augmentation de produits "non-sain" (e.g. barre chocolatée) et d'une augmentation de calories achetées. Les participants achètent donc plus de produits frais dans un magasin virtuel lorsqu'ils sont peu chers.

Massara et al. [124] ont étudié la réponse émotionnelle des participants ( $n = 100$ ) dans un magasin virtuel. Ils ont trouvé que les participants ressentent plus de plaisir lorsque leur attente et leur objectif d'achat sont congruents, c'est à dire avec une haute attente et un objectif ambigu (état émotionnel hédoniste) ou avec une faible attente et un objectif clair (état émotionnel orienté sur l'utilitaire). L'état émotionnel des participants a donc un rôle sur leur plaisir dans un magasin virtuel. Van Herpen et al. [183] ont étudié l'effet de mode en observant la réaction des participants ( $n = 68$ ) face au manque de produits dans un magasin virtuel. Ils ont montré que les participants préfèrent les produits peu disponibles (i.e. achetés par d'autres personnes auparavant), même si ceux-ci ne sont pas "uniques". Nederkoorn et al. [131] ont utilisé un supermarché virtuel sur Internet (en utilisant des photos de vrais produits) afin d'étudier la manière dont la faim impacte l'achat de nourriture : 94 participants disposaient d'un budget virtuel pour acheter la nourriture et les boissons qu'ils voulaient pendant 3 jours. Les auteurs ont montré que les

participants les plus “affamés” achètent davantage de calories, et en particulier davantage de snacks.

### 2.4.3 Comparaison entre les magasins réels et les magasin virtuels

Lorsque l’on étudie le comportement des consommateurs dans un supermarché virtuel, il est naturel de s’interroger sur la validité des résultats obtenus. De manière générale, les clients des magasins virtuels ont des comportements d’achats similaires à ceux des magasins physiques [193, 191]. Il existe cependant des différences qu’il est important de prendre en compte lorsque l’on veut comparer les données des utilisateurs d’un magasin virtuel avec celles obtenues dans un magasin réel. Il a par exemple été montré que les utilisateurs tendent à acheter d’avantage de produits dans un magasin virtuel [32, 184] que dans un magasin physique, à dépenser davantage [111] et/ou à acheter une plus large variété de produits [184].

Bressoud [29] a ainsi examiné les différences d’attitudes et de comportements des consommateurs confrontés à une boîte de céréales présentant des éléments innovants entre un magasin réel ( $n = 200$ ) et un magasin virtuel ( $n = 200$ ). Il a montré que le temps d’achat pour acheter un produit innovant est plus court dans un magasin virtuel, et que les sentiments/émotions (*affective attitude* en anglais) et les croyances/connaissances (*cognitive attitude* en anglais) sont significativement différents. Toutefois, le comportement (conative attitude dans Bressoud [29]) est similaire.

Van Herpen et al. [185] ont quant à eux montré que les participants ( $n = 90$ ) achètent davantage de produits en condition expérimentale en virtuel, en cause en particulier de la possibilité qui leur est donnée d’acheter, même s’ils sont déjà satisfaits avec un produit, d’autres alternatives (*variety seeking behavior* en anglais). Les auteurs ont pour ce faire utilisé un magasin virtuel (affiché sur 3 écrans LCD de taille normale), un magasin physique et des photos. Ils indiquent aussi que le magasin virtuel est préférable aux photos pour simuler le comportement des consommateurs.

Waterlander et al. [191] ont récemment montré que les modèles du comportement d’achats dans un magasin virtuel sont comparables à ceux de la vie réelle. Les auteurs ont conclu que les supermarchés virtuels sont des outils valides pour mesurer le comportement d’achat de la nourriture. Ils ont toutefois noté qu’il était important d’améliorer



les fonctionnalités de certains rayons, en particulier le rayon fruits et légumes et le rayon produits laitiers, car les résultats n'étaient pas forcément comparables.

Nous avons dans cette sous-partie présenté différents magasins virtuels utilisés en recherche marketing. Dans la partie suivante, nous présentons les différentes méthodes existantes pour générer des F&Ls virtuels.

## 2.5 Génération procédurale de Fruits et Légumes 3D

Dans cette section nous présentons les techniques existantes de génération de maillages 3D (*3D mesh* en anglais) de F&Ls et la simulation de changements d'apparences des F&Ls.

### 2.5.1 Génération de modèles 3D de Fruits et Légumes

Il existe peu de travaux s'étant spécifiquement concentrés sur la génération de maillage 3D de F&Ls.

Sans rapport avec la modélisation graphique, mentionnons toutefois Génard et al. [71, 72] qui ont modélisé le comportement biologique d'un fruit, et ont ensuite exploré les phénomènes impactant sa qualité (cf. Fig. 2.24). Cieslak et al. [37] ont généré le maillage 3D du système vasculaire d'un fruit en utilisant un scanner à imagerie magnétique (cf. Fig. 2.25).

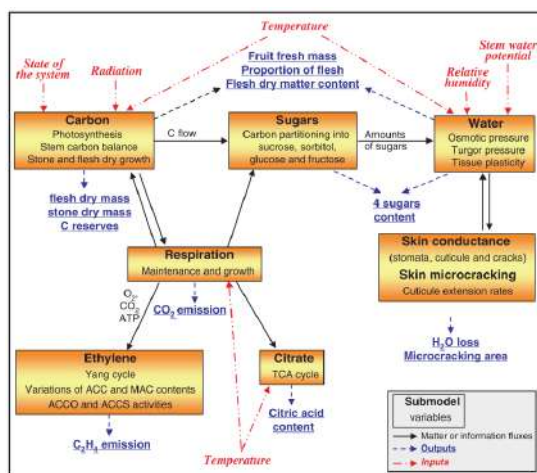


FIGURE 2.24 – Représentation schématique des relations existantes entre les sous-modèles considérés du fruit modélisé par Génard et al. [72].

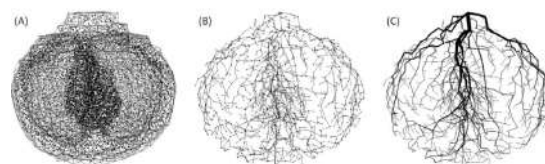


FIGURE 2.25 – Génération du système vasculaire d'un fruit préalablement scanné.

La majorité des approches pour générer des F&Ls 3D (à notre connaissance, la totalité)

utilisent une modélisation basée sur un modèle mathématique et non biologique. Fowler et al. [66], ont ainsi présenté une méthode utilisant des collisions pour modéliser la phyllotaxie (i.e. la foliation<sup>21</sup>) chez les fleurs et certains F&Ls (cf. Figs. 2.26, 2.27, 2.28).

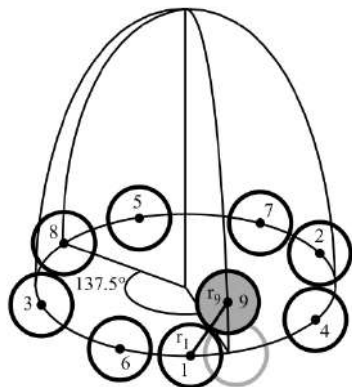


FIGURE 2.26 – Le modèle de collision de Fowler et al. [66]. Lorsqu’il n’est plus possible d’ajouter une sphère sur le réceptacle conique, la génération s’arrête.



FIGURE 2.28 – Chou-fleur Romanesco généré par le modèle de collision de Fowler et al. [66]. Chaque fleur est individuellement générée à l’aide de cette technique. Elles sont ensuite “assemblées” pour former le chou-fleur.

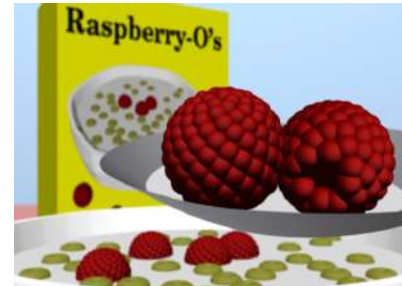


FIGURE 2.27 – Framboises générées par le modèle de collision de Fowler et al. [66]. Les baies sont individuellement générées le long d’un réceptacle sphérique sous forme de sphères qui s’intersectent.

Huang et al. [81] ont utilisé un L-system ad-hoc (le L-system est une grammaire largement utilisée pour modéliser le développement des végétaux, tels que les arbres ou les algues) pour générer des grappes de raisins visuellement réalistes de manière procédurale. L’utilisateur décide des paramètres du L-system et de l’orientation de la grappe. La simulation génère les L-systems et les grains associés. Ces derniers se placent automatiquement

21. C’est à dire “la disposition des feuilles sur la tige” [106].

à l'aide d'un système de collision (cf. Figs. 2.29, 2.30).

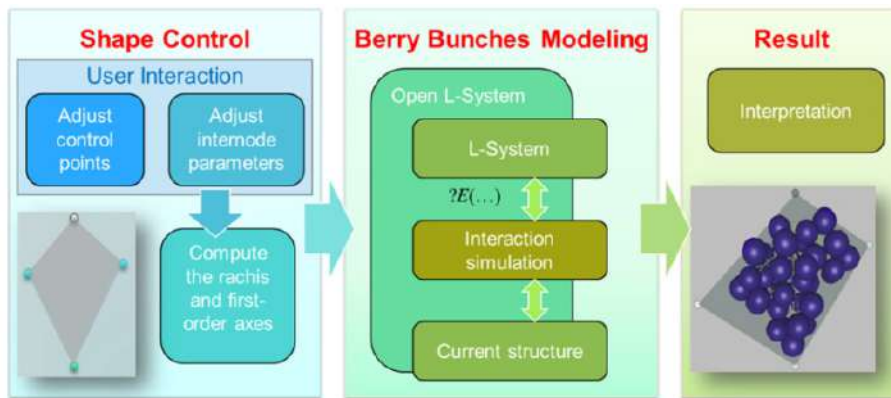


FIGURE 2.29 – Le pipeline présenté par Huang et al. [81].



FIGURE 2.30 – L'image de rendu obtenue par Huang et al. [81].

Wang et al. [190] ont introduit une représentation vectorielle d'objets volumiques (*multiscale vector volumes* en anglais) pour générer des structure internes complexes. À l'aide de cette représentation, ils ont généré la structure interne d'une orange (cf. Fig. 2.31 2.32).

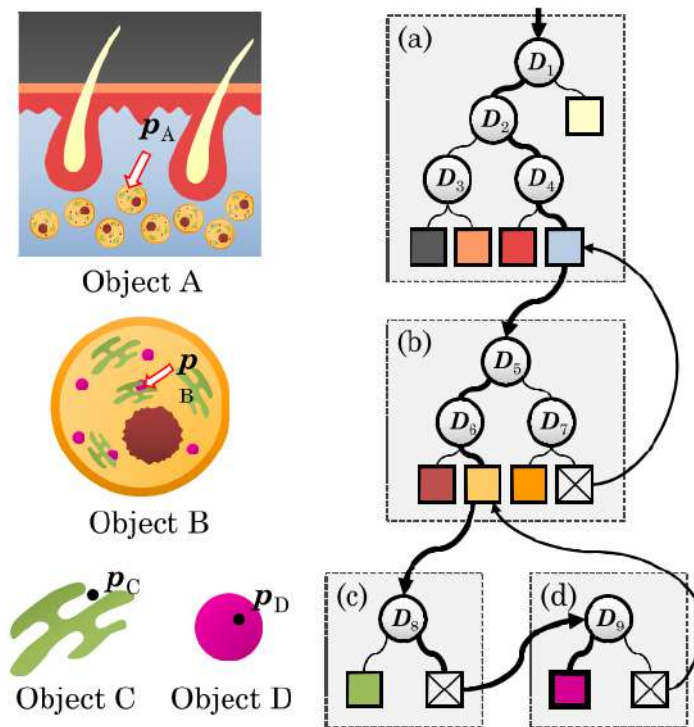


FIGURE 2.31 – Le pipeline présenté par Huang et al. [81].

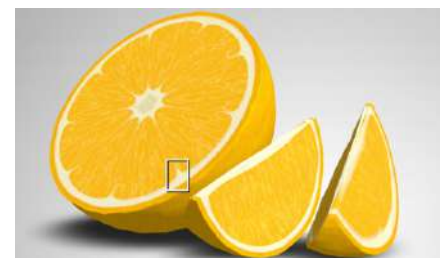


FIGURE 2.32 – L'image de rendu obtenue par Huang et al. [81].

Bohl et al. [26] ont récemment proposé une approche utilisant une grammaire 3Gmap L-system, c'est à dire semblable à celles des L-system mais capable de générer des maillages 3D. Ils ont testé leur approche sur plusieurs F&Ls et ont en particulier généré différentes

variations de tomates. Un des avantages de leur méthode est la possibilité de construire la partie intérieure du F&L. Bien que cette méthode propose actuellement les meilleurs résultats pour générer des F&Ls avec une grande variabilité, l'utilisation d'une grammaire 3Gmap L-system la rend complexe à utiliser (cf. Figs. 2.33, 2.34, 2.35).

```

Grammar 1

#define PE(4, 0, 0, 0, 10, 10, 10)

#define height = 50
#define width = 30
#define precision = 10
#define angletop = 30
#define anglebase = 10

#define vhei =  $\pi / \text{precision}$ 
#define vang =  $(\text{angletop} + \text{anglebase}) / \text{precision}$ 
#define vsid =  $2 / \text{precision}$ 

#axiom: TR(10, 0, 0, 0, 5, 5, 5)

(p01) TR{ } {stage < precision}
{h =  $\sin(\text{stage} \times \text{vhei}) \times \text{height}$ }  $\rightarrow$  TR[TR(,,, , <
h >, , ,)]E

(p02) TR{ } {stage < precision}
{a =  $\text{angletop} - (\text{stage} \times \text{vang})$ ;
l =  $\sqrt{1 - (\text{stage} \times \text{vsid} - 1)^2 \times \text{width}}$ }
 $\rightarrow$  TR[PE(,,, , <a>, <l>, , ,)]C*

(p03) PE{ } {stage == precision} { }  $\rightarrow$ 
PEC* | PEC*

```

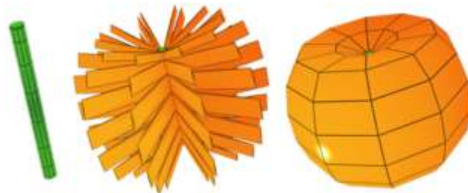


FIGURE 2.33 – La grammaire du 3Gmap L-system utilisé pour générer une orange [26].

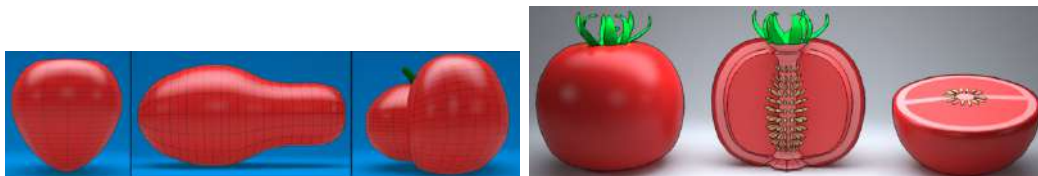


FIGURE 2.34 – Différents modèles de FIGURE 2.35 – L'intérieur d'une tomate générées par Bohl et al. [26].

## 2.5.2 Changement d'apparence des Fruits et Légumes

Nous présentons ci-dessous les travaux en relation aux changements d'apparences des F&Ls. Les phénomènes naturels modifiant l'apparence des objets ont été classifiés en 3 ca-

tégories : physique, chimique et biologique [118, 128]. En se basant sur cette classification, Kider [96] a classifié les simulations de ces phénomènes en 5 catégories : basées sur les phénomènes physiques ; basées sur les phénomènes chimiques ; basées sur les phénomènes biologiques ; basées sur un modèle mathématique dissocié des phénomènes naturels ; et basées sur un ensemble de données. Nous présentons ci-dessous une description rapide de ces simulations :

1. Les simulations basées sur des phénomènes physiques (e.g. érosion [103], cassures [54], accumulation de particules, etc.), chimiques (e.g. corrosion [129], pollution, etc.) et biologiques (e.g. pourriture [97], etc.) donnent des résultats réalistes (car elles sont basées sur la modélisation de phénomènes naturels) mais sont difficiles à contrôler.
2. Les simulations basées sur des modèles mathématiques se basent principalement sur la géométrie de l'objet génèrent des résultats visuellement réalistes, peuvent être contrôlé et demandent moins de puissance de calcul. Cependant ces méthodes ne modélisent généralement qu'un phénomène très particulier.
3. Les simulations basées sur l'utilisation d'images clés (*key-frame images* en anglais), sont récupérées d'une base de données d'objets réels changeant d'apparence dans des conditions de laboratoire. Ces données (e.g. images, vidéos, etc.) capturent un phénomène précis dans des conditions contrôlées. Les résultats sont extrêmement réalistes, mais capturer l'effet recherché demande beaucoup de ressources (e.g. l'accès à une importante base de données d'objets pour chaque phénomène). De plus, les phénomènes de changement d'apparence, tels que la pourriture, ne sont pas le résultat d'un seul phénomène, mais de plusieurs (e.g. humidité, température, porosité, etc.) rendant cette approche difficile à utiliser.

Même si les phénomènes de changement d'apparence peuvent être utilisés sur de nombreux objets (bâtiments, voitures, etc.), nous nous concentrons ici principalement sur les F&Ls. Les techniques de changements d'apparence des F&Ls remontent à Blinn [22], qui avait utilisé une approche mathématique, le placage de relief (*bump mapping* en anglais), pour ajouter des rides à une fraise. Á notre connaissance, il y a cependant eu peu de travaux effectués sur le changement d'apparence des F&Ls.

Plus récemment, une approche basée sur l'utilisation d'images clés a été utilisée pour représenter visuellement la pourriture de différents F&Ls (pommes, bananes et oranges) [76].

Cette approche nécessite d'obtenir les données d'un changement d'apparence dans des conditions de laboratoire et doit être répétée pour chaque type de pourriture que l'on voudrait reproduire. Kider et al. [97] a proposé une technique basée sur des particules prenant en compte des procédés physiques, chimiques et biologiques à l'aide d'un modèle de type réaction-diffusion pour simuler des changements d'apparence de F&Ls au cours du temps. Cette approche est partiellement physiquement et visuellement réaliste mais le modèle utilisé manque de contrôle. Fan et al. [60] ont développé une approche mathématique utilisant également un modèle de réaction-diffusion pour simuler la pourriture annulaire (*ring rot* en anglais), et l'ont testé sur des fruits (pêches et jujubes). Cette approche est physiquement réaliste mais ne peut simuler que cette maladie.

## 2.6 Conclusion

Nous avons d'abord présenté dans cet état de l'art les F&Ls non-standards, en montrant (i) qu'ils englobent un ensemble de F&Ls de qualité faible (F&Ls de catégorie 2) mais répondant aux normes de commercialisation minimales de la CEE-ONU, et (ii) qu'il est possible de les commercialiser mais que les accords inter-professionnels français imposent de ne pas le faire. Nous avons ensuite montré l'importance des F&Ls frais dans les GMS, et avons souligné que même si des initiatives visant à proposer des F&Ls non-standards existent, les GMS préfèrent ne pas risquer de les commercialiser plus couramment.

Afin de pouvoir néanmoins étudier le comportement des consommateurs face aux F&Ls non-standards, il est possible, et c'est d'ailleurs l'objet de cette thèse, d'utiliser des magasins virtuels et d'étudier le comportement des consommateurs en virtuel. Nous avons donc présenté la RV et les notions de présence, d'immersion et d'incarnation virtuelle, avant de continuer en présentant les magasins virtuels et leur utilisation actuelle en recherche marketing. Nous avons mis en évidence (i) que peu de magasins virtuels proposent de la RVI et des produits frais ; (ii) que ce sont néanmoins des outils relativement fiables pour étudier le comportement et la perception des consommateurs ; même si (iii) il existe des différences à prendre en compte entre le réel et le virtuel.

Finalement, le magasin virtuel doit proposer un ensemble de F&Ls standards et non-standards, nous avons donc mis en avant les techniques actuelles de génération de F&Ls,

d'abord sur la modélisation, ensuite sur le changement d'apparence.

# Chapitre 3 : Génération de Fruits et Légumes Moches

Ce chapitre se concentre sur la génération des F&Ls moches. En effet afin d'utiliser des F&Ls dans un magasin virtuel il est nécessaire d'en posséder des modèles 3D texturés<sup>1</sup>. Ces modèles doivent de plus être variables entre eux, afin d'éviter un effet de "répétition" et d'assurer le réalisme de l'expérience. Cependant modéliser des F&Ls d'apparence variable est, en fonction du niveau de détail, demandant en temps car il est nécessaire pour chaque type de F&L d'en modéliser un ensemble de sous-modèles.

Pour pallier à ce problème, nous avons développé un enchaînement de deux méthodes capables de générer de manière semi-procédurale des F&Ls d'apparence variable. L'une de ces méthodes se concentre sur les variations de formes et l'autre sur les variations de textures.

## 3.0.0.1 Des variations de forme

Il existe des méthodes permettant de déformer un objet 3D, par exemple le *Cage Deform* [94]. Cependant celles-ci ne sont pas les plus adaptées pour générer d'importantes variations de formes (e.g. telles que les excroissances, très présentes chez les F&Ls moches), car elles n'ajoutent pas de matière (i.e. de points 3D) au modèle.

Pour pallier à cette limitation, nous utilisons une approche basée sur des CGs [6] (Generalized Cylinders (GCs) en anglais). Nous détaillons celle-ci en Sec. 3.0.1.1 mais présentons ci-après ses étapes principales : nous nous servons d'une *structure en squelette* d'un F&L donné. Cette structure est basée sur un modèle créé manuellement, puis est

---

1. Nous ne concentrons ici que sur les textures RGBA.



modifiée aléatoirement en fonction des paramètres utilisateurs. Des CGs utilisent ensuite cette structure pour former le maillage 3D. Des *metaballs* [23]) recouvrent alors le maillage 3D pour lui donner un aspect organique.

### 3.0.0.2 Des variations de couleur

Les F&Ls changent de couleurs au travers de phénomènes environnementaux (gel, parasites, etc.) ou biologiques (maturation, maladie, etc.). Ces changements peuvent se relever complexes à simuler, mais des modèles de réaction-diffusion s’y sont essayés (cf. Kider et al. [97] et Fan et al. [60]). Cependant, si ces modèles donnent des résultats réalistes, ils ne permettent pas de contrôler aisément le processus de création (ici de réaction-diffusion), et se limitent à un type de changement d’apparence donné.

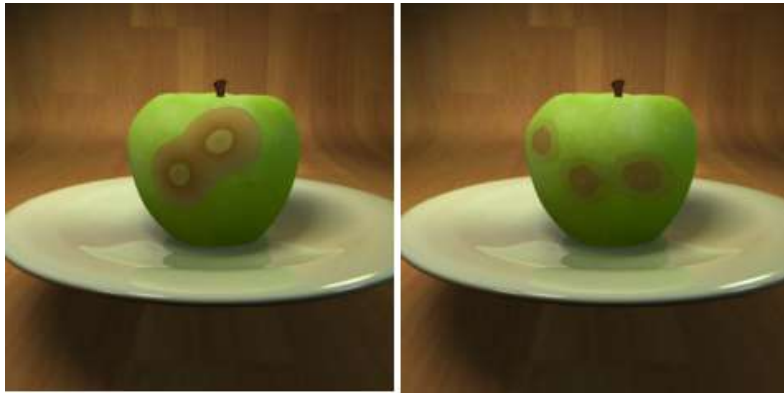


FIGURE 3.1 – Le résultat de Fan et al. [60] pour simuler de la pourriture annulaire sur la pomme.

Nous avons donc choisi d'utiliser une approche basée sur un ensemble de systèmes à particules. Nous détaillons cette approche en Sec. 3.0.2 mais présentons ci-après ses étapes principales : chaque système à particules fait partie d'un type donné (appelons le type A). Chaque type représente une caractéristique visuelle (ici de type A), et est chargé (i) d'émettre d'autres systèmes à particules (ici des particules type A), (ii) de propager ses particules sur une texture dédiée à son type (ici une texture de type A), (iii) de maturer ses particules. Un manager de système à particules mélange ensuite les textures de chaque type pour former la texture finale.

Nous présentons ci-dessous un rapide état de l'art sur les structures en squelette, les CGs et les *metaballs*. Nous détaillons ensuite notre approche pour varier la forme, puis celle pour varier la couleur des F&Ls. Finalement nous présentons nos résultats.

Notons que nous générons des F&Ls visuellement réalistes et que nous nous concentrons sur les F&Ls communément présents en GMS et ceux susceptibles d’être visiblement déformés (nous excluons donc les salades, raisins, etc.).

### 3.0.1 Structure en squelette, Cylindres Généralisés (GCs) et *metaballs*

Les structures en squelette peuvent être utilisées pour générer de manière procédurale des objets complexes et ont été largement utilisées pour produire des formes organiques. Bloomenthal et al. [25] les ont ainsi associées à des CGs et des surfaces implicites pour modéliser le “Mighty Maple”, cf. Fig. 3.2. L’idée générale des cylindres générales est de définir un set de section(s) en coupe (e.g. un cercle), qui est ensuite “glissé” le long d’une courbe 3D (e.g. une droite), générant ainsi un modèle 3D (avec une section en coupe circulaire et une droite, nous obtiendrions un cylindre).



FIGURE 3.2 – Le Mighty Maple de Bloomenthal et al.. [25]

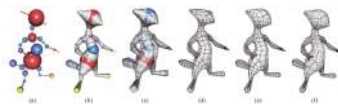


FIGURE 3.3 – Les différentes étapes de la méthode utilisée par Ji et al. [93] pour générer une forme 3D à partir d’un squelette.

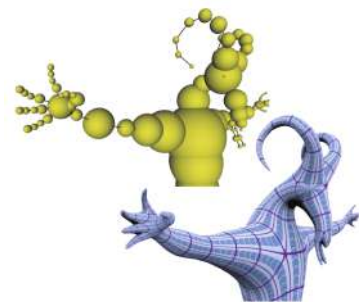


FIGURE 3.4 – Le résultat de Bærentzen et al. [12] pour générer une forme 3D à partir d’un squelette.

Plus récemment, Ji et al. [93] ont développé le *B-mesh*, leur méthode fait glisser des “sphères” le long d’un squelette et construit un maillage à partir de l’enveloppe convexe obtenue par les glissement de ces sphères (cette méthode est similaire aux CGs, mis à part que les CGs utilisent des sections en coupes). Dans la continuité de Ji et al. [93], Bærentzen et al. [12] ont développé le *Skeleton to Quad-dominant polygonal Mesh algorithm* (SQM) (cf. Fig. 3.4), leur méthode génère des polyèdres à chaque branche d’un squelette, qui sont ensuite reliés entre eux.

Le *B-mesh* ainsi que le SQM peuvent être utilisés pour modéliser des formes cylindriques (qui sont très présentes chez les plantes [189] et chez les F&Ls), cependant ces méthodes ne permettent pas d'utiliser des sections en coupes de formes spécifiques (pour obtenir par exemple des tomates cœur de bœuf). Nous préférons donc nous concentrer sur les CGs.

Il existe peu d'études ayant utilisé les CGs pour générer des F&Ls, cependant ils sont très utilisés pour modéliser les plantes. Bloomenthal et al. [25], comme précisé précédemment, ont utilisé les CGs pour modéliser l'ensemble (et en particulier les branches) du "Mighty Mapple" (un érable). Plus récemment, en définissant la position de la plante, Prusinkiewicz et al. [154] ont utilisé des CGs à l'intérieur de l'environnement L-studio/CPFG [153] pour modéliser des plantes complexes (cf. Fig. 3.5). Fuhrer et al. [70] ont également utilisé des CGs avec un L-system pour générer des poils le long des plantes afin d'améliorer le réalisme global (cf. Fig. 3.6).

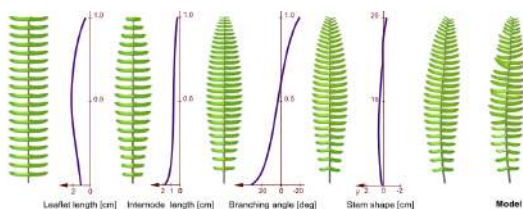


FIGURE 3.5 – La méthode utilisée par Prusinkiewicz et al. [154] pour modéliser une feuille.



FIGURE 3.6 – Un rendu de fleur sauvage par Fuhrer et al. [70].

Les *metaballs* [23, 133] ont quant à elles été très utilisées pour représenter des formes vivantes et des phénomènes naturels (principalement des fluides dans ce cas). Leur champ scalaire donne un aspect très "organique" aux objets générés. Une revue faite par Pan et al. [141] présente des exemples d'utilisation de *metaballs* dans la modélisation du corps humain. D'autres objets organiques peuvent également être représentés (e.g., [20, 142]). À notre connaissance, il n'existe pas d'études ayant essayé de modéliser des F&Ls à partir de *metaballs*.

### 3.0.1.1 Création de maillage 3D

Notre méthode peut générer plusieurs F&Ls à partir d’une structure squelettique 3D du F&L “normal” (on l’appellera la “structure squelettique de base”). Des “malformations” peuvent ensuite être ajoutées à la structure squelettique de base, en ajoutant par exemple une branche au squelette.

Cette méthode présente 2 avantages : (1) les structures squelettiques sont plus simples à générer qu’un maillage de F&L ; (2) les malformations peuvent être aisément manipulées.

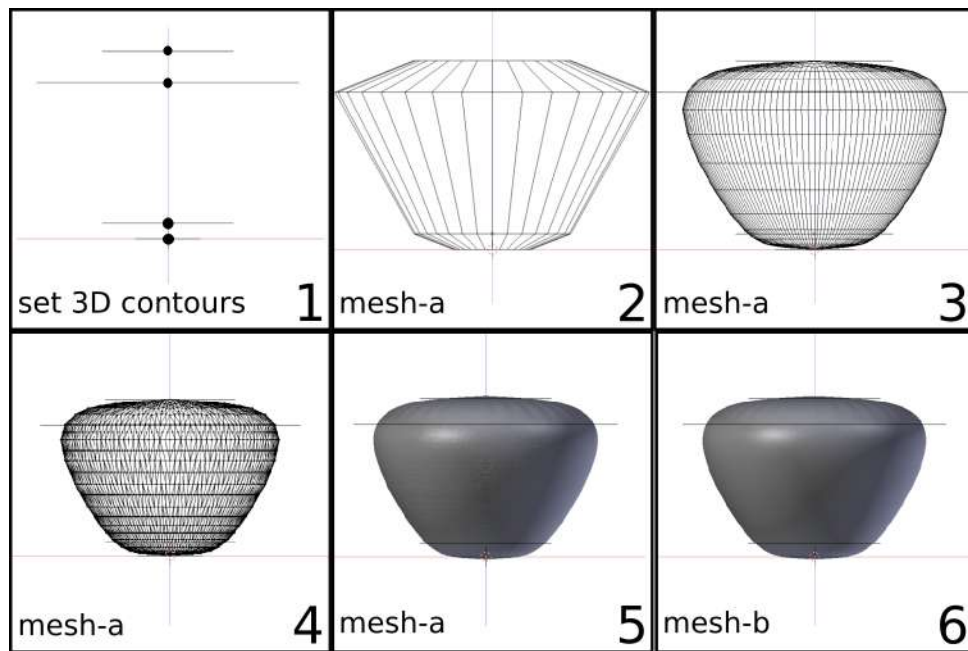


FIGURE 3.7 – De gauche à droite et du haut vers le bas : (1) Mettre en place les sections en coupes le long de chaque point de la structure en squelette ; (2) La forme des CGs s’adapte à celle des sections en coupes, et glisse le long de la structure en squelette (le maillage obtenu est le **mesh-a**) ; (3) Appliquer une subdivision *Catmull-Clark* ; (4) Faire une triangulation du **mesh-a** et subdiviser les arrêtes (*edges* en anglais) dont la longueur est supérieure à un seuil donné ; (5) Générer et positionner une *metaball* à chaque point 3D du **mesh-a** ; (6) Convertir les *metaballs* du maillage en un nouveau maillage (appelé **mesh-b**) et le lisser.

### 3.0.1.2 Attributs des sections en coupes des GCs

La méthode prend en entrée une structure en squelette de base (cf. Fig. 3.7) et un ensemble de section en coupes (cf. Fig. 3.8). Chaque section en coupe est positionnée sur un point 3D de la structure en squelette. Il y a donc autant de sections en coupes que de points 3D sur la structure en squelette. À chaque point 3D de la structure en squelette nous associons également un ensemble d’attributs :

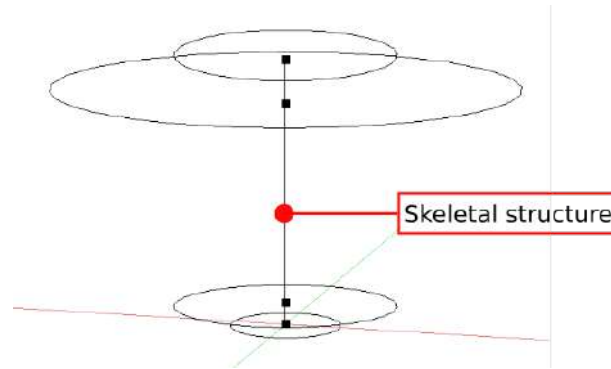


FIGURE 3.8 – La structure en squelette de base d’une pomme avec les 4 sections en coupes associées.

1. L’intensité et la portée de la modification en position et orientation qui peut être appliquée au point ;
2. L’intensité et la portée de la modification de sa section en coupe associée (e.g. un agrandissement de celle-ci) ;
3. La probabilité qu’il puisse générer un autre point 3D (permettant donc d’ajouter une nouvelle branche à la structure en squelette). Le point 3D généré sera placé dans un rayon maximal défini par l’utilisateur (voir ci-dessous) et bénéficiera de tous les attributs de son parent, multipliés par une valeur définie par l’utilisateur (voir ci-dessous).
4. Le rayon dans lequel un autre point 3D peut être généré ;
5. Le poids qui sera associé à chaque attribut du ou des point(s) enfant(s) ;

Les variations sont ensuite appliquées aléatoirement dans les intervalles définis par l’utilisateur, ce qui permet de générer un large panel de structures en squelette.

### 3.0.1.3 La création du maillage

Une fois que la structure en squelette de base et ses attributs sont définis, la forme du F&L est générée grâce aux CGs (cf. Fig. 3.10). Une fois le maillage 3D généré, une division *Catmull-Clark* [35] est appliquée pour obtenir un aspect plus "organique" (le maillage est alors polygonal). Le maillage est ensuite triangulé et toutes ses arêtes d’une longueur supérieure à une valeur donnée ( $d$ ) sont divisées. Nous générons ensuite une *metaball* à la position de chaque point 3D du maillage. Le rayon de ces *metaballs* doit être plus grand que  $d/2$ . Nous utilisons ensuite l’algorithme du *marching cube* [116] pour transformer les

*metaballs* en un maillage 3D (mesh-b). Finalement, nous appliquons un algorithme de lissage au mesh-b avec un *Laplacian smoothing* (cf. Fig. 3.9).

Enfin, nous décimons le maillage afin de réduire son nombre de points 3D et de pouvoir l'utiliser dans un environnement virtuel.

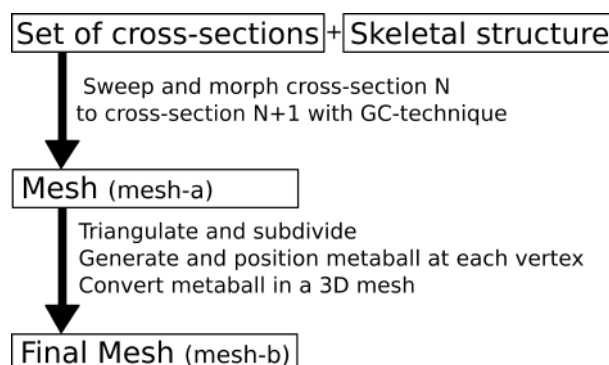


FIGURE 3.9 – La méthode de génération du maillage 3D.

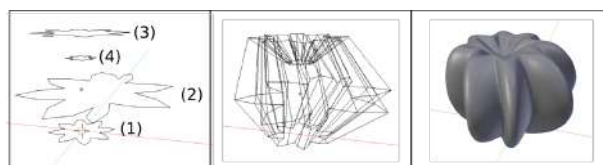


FIGURE 3.10 – Génération du maillage d'une tomate cœur de bœuf.

### 3.0.2 Génération de la texture de couleur

Notre approche reste très proche de celle utilisée par les modèles de réaction-diffusion de Kider et al. [97] et de Fan et al. [60].

Notre approche sépare un changement d'apparence complexe, car agissant sur de nombreuses caractéristiques visuelles, en une série de changements se concentrant chacun sur une seule caractéristique visuelle, cf. l'exemple de la banane Fig. 3.11, pour lequel nous identifions, en fonction de la forme, position et densité, plusieurs caractéristiques de pourrissement. Ceci nous permet de nous concentrer sur une seule caractéristique visuelle à la fois, et de les réutiliser au sein d'autres types de changement d'apparence complexe.

Chaque caractéristique visuelle est associée à un système de particules qui la représente sous forme de texture. L'utilisateur définit pour chacun de ces systèmes de particules des comportements : (1) d'émission, (2) de propagation, (3) de maturation. L'émission place le système de particules sur la texture, la propagation fait émettre le système de

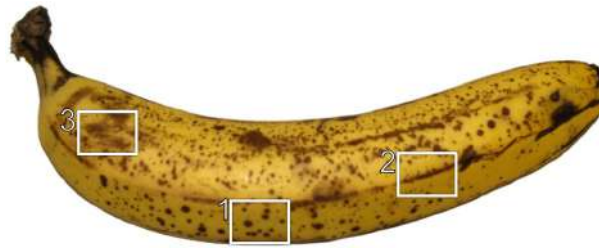


FIGURE 3.11 – Les types de caractéristiques visuelles que nous avons identifié pour la banane : (1) des points noir aléatoire ; (2) des lignes noires le long de régions spécifiques ; (3) des régions noires, qui marquent un état avancé de maturation.

particules sur la texture (à la manière de la diffusion d’un modèle de réaction-diffusion) et la maturation change le système de particules en un autre système de particules (à la manière de la réaction d’un modèle de réaction-diffusion).

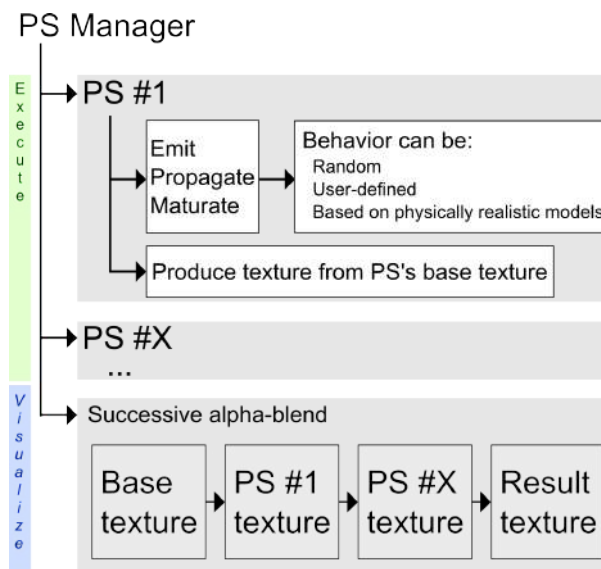


FIGURE 3.12 – SP est l’acronyme de Système de Particules. Le manager de système de particules exécute l’ensemble des système de particules puis mélange les textures produites. Chaque système de particules a un comportement d’émission, de propagation et de maturation.

Tous les systèmes de particules sont de plus pris en charge par un “manager” de système de particules, dont le rôle est d’assurer la mise à jour de la simulation, et de réaliser un mélange (*blend* en anglais) des textures de chaque système de particules (cf. Fig. 3.12).

A chaque mise à jour de la simulation, les systèmes à particules réalisent les actions suivantes :

1. Déterminer où d’autres systèmes de particules peuvent être émis, et où les particules vont être propagées ;
2. Calculer combien de nouveaux système de particules (n) peuvent être émis et com-

- bien de nouvelles particules ( $m$ ) peuvent être propagées ;
3. Émettre, sur la texture correspondante à ce système de particules,  $m$  systèmes de particules ;
  4. Propager, sur la texture correspondant à ce système de particules,  $n$  particules (une particule couvre un ou plusieurs pixels) ;
  5. Maturer les systèmes de particules et les particules. La valeur alpha des particules dépend de leur maturation.

Une fois que chaque système de particules a été mis à jour, le manager mélange la texture de base du modèle 3D avec les textures obtenues par les différents systèmes de particules (cf. Fig. 3.12).

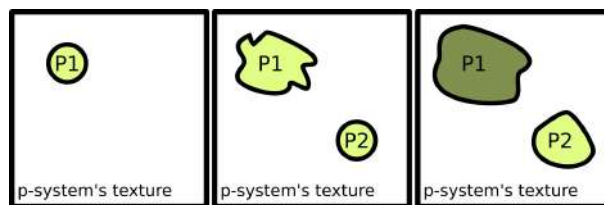


FIGURE 3.13 – De gauche à droite : (1) Un système de particule P1 ; (2) le système émet P2 (de même type) puis se propage sur la texture ; (3) P1 et P2 se propage, P1 mature et change de couleur.

En fonction du type de caractéristique visuelle, il est donc nécessaire de développer les comportements d'émission (e.g. aléatoire, en fonction d'une texture de probabilité, absence d'émission, etc.), de propagation (e.g. idem que l'émission, vitesse de propagation en fonction du temps, etc.) et de maturation (e.g. après  $x$  secondes devient une particule de type  $n$ , absence de maturation, etc.) correspondants. Nous avons obtenu nos résultats en implémentant les paramètres suivants : chaque système de particules prend en paramètre un masque d'émission et de propagation, un temps d'activation et une durée d'activation ; et pour le comportement d'émission et de propagation : un taux d'émission et de propagation, une distance d'émission et de propagation, une texture de probabilité d'émission et de propagation.

### 3.0.3 Résultats

Nous avons implémenté notre approche dans Blender (v2.71) et Unity3D (v5.0) respectivement pour la création du maillage 3D et la génération des textures. L'implémentation



s'est faite sur un ordinateur portable classique (RAM 12 Go, Intel i5@2.GHz). Le temps de calcul de création du maillage 3D est évidemment dépendant du nombre et du rayon des *metaballs* tandis que celui de génération de la texture dépend de la complexité des comportements des systèmes à particules ainsi que du nombre de particules.

### 3.0.3.1 Variabilité de formes

L'objectif de notre méthode est de générer de manière semi-procédurale des F&Ls moches (ici, de forme anormale), cependant il n'existe pas, à notre connaissance, de répertoire des formes anormales chez les F&Ls, aussi nous nous sommes inspiré des malformations courantes que l'on peut rencontrer chez les F&Ls. Nous présentons ci-dessous nos résultats.

**Malformation de la pomme Granny Smith.** La base de données nationale des fruits du Royaume-Uni (*The National Fruit Collection* en anglais) caractérise les pommes selon leur taille (grande, moyenne, etc.) et leur forme (globulaire, plate, conique, etc.). Cependant, comme mentionné précédemment, il n'y a pas de recensement des types de malformations chez les pommes. Nous choisissons ici de présenter nos résultats avec la pomme Granny Smith, très présente en GMS.

Pour illustrer notre approche, nous présentons le squelette d'une pomme "normale" et celui d'une pomme "anormale" (cf. Fig. 3.14) ainsi que le résultat final avec ces mêmes squelettes (cf. Fig. 3.15).

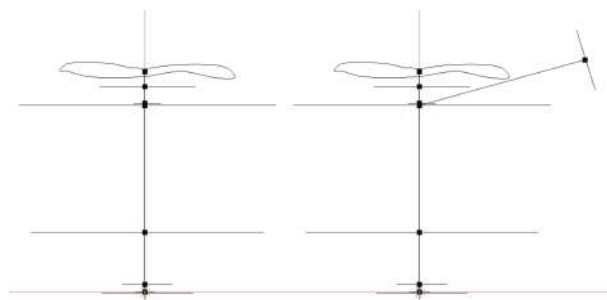


FIGURE 3.14 – La structure en squelette de la pomme Granny Smith. A gauche sans malformation, à droite avec une excroissance.

**La tomate cœur de bœuf** Des formes plus complexes peuvent aussi être générées. Nous présentons ci-dessous les tomates cœur de bœuf malformées, l'une d'elle inspirée d'une image réelle (cf. Fig. 3.16 pour l'image réelle, et Fig. 3.17 pour les rendus).

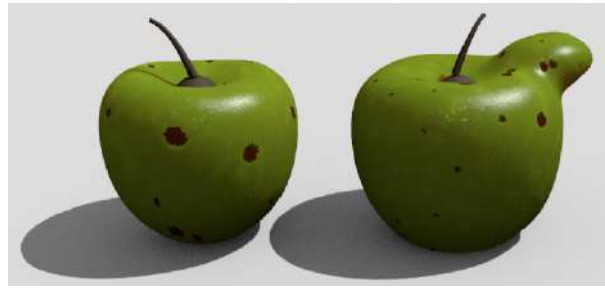


FIGURE 3.15 – Les rendus obtenus à partir des structures présentés en Fig. 3.14.



FIGURE 3.16 – Une photographie d'une tomate cœur de bœuf déformée (image tiré de [11]).



FIGURE 3.17 – Deux exemples de tomates cœur de bœuf légèrement malformées.

**Plusieurs Fruits et Légumes malformées** Finalement, nous présentons un ensemble de F&Ls de forme anormales générées avec notre méthode : pommes Granny Smith et Fuji, tomates, poires et oranges.

### 3.0.3.2 Variabilité de couleur

Nous présentons maintenant nos résultats pour les variations de couleurs. Un des avantages de notre approche est qu'elle permet de représenter de nombreux phénomènes modifiant la couleur des F&Ls, tel que la maturation, mais aussi les maladies.

**Une banane mature** En se basant sur l'observation d'un phénomène réel, nous avons sélectionné 3 caractéristiques visuelles pour décomposer ce changement complexe : des points aléatoires, des lignes à des endroits précis et de la pourriture. Par conséquent nous utiliserons 3 types de systèmes de particules, un pour chaque caractéristique visuelle (cf. Fig. 3.19 et Fig. 3.20).

**Deux exemples de maladies** Comme mentionné auparavant, il est possible de simuler des maladies en modifiant le comportement des système de particules. Nous présentons

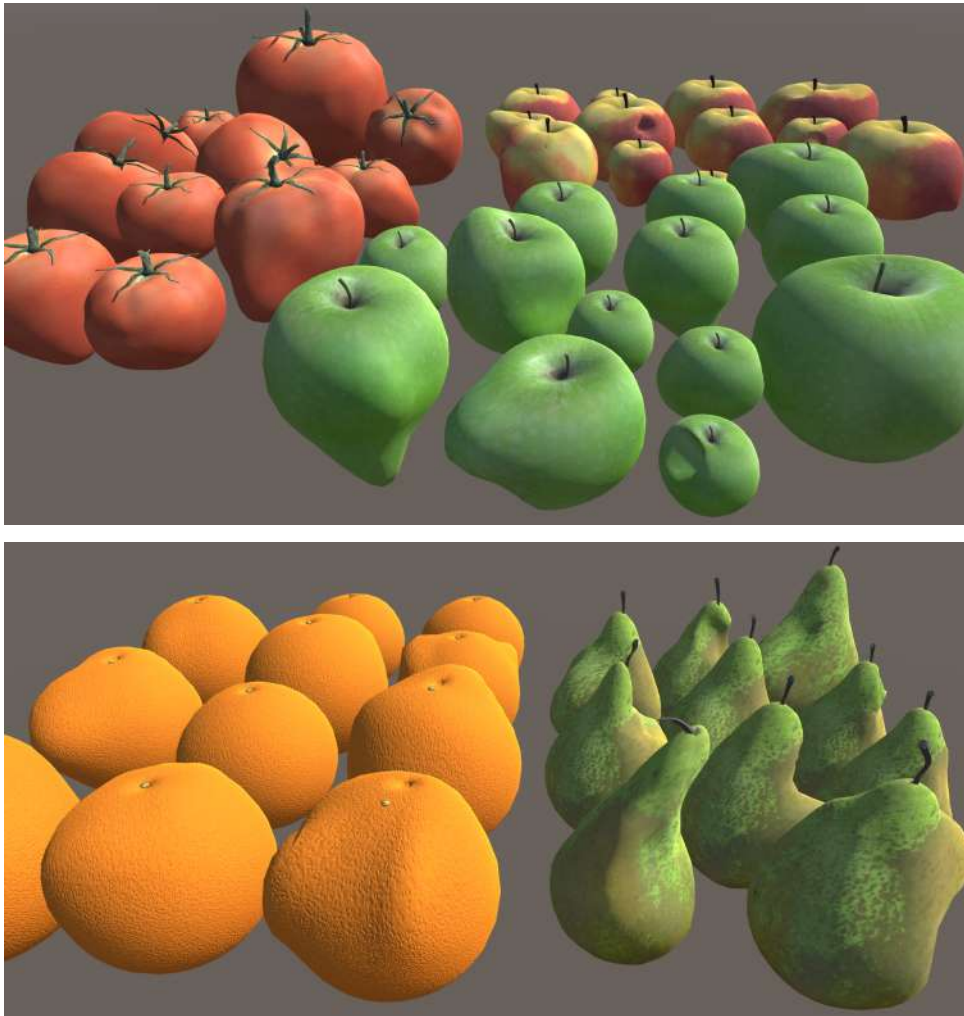


FIGURE 3.18 – F&Ls générés puis décimés et rendus dans un moteur 3D temps réel (Unity3D). En haut à gauche : Tomates ; en haut à droite : pommes Granny Smith et Gala ; en bas à gauche : oranges ; en bas à droite : poires.



FIGURE 3.19 – Le rendu d'une banane mature.

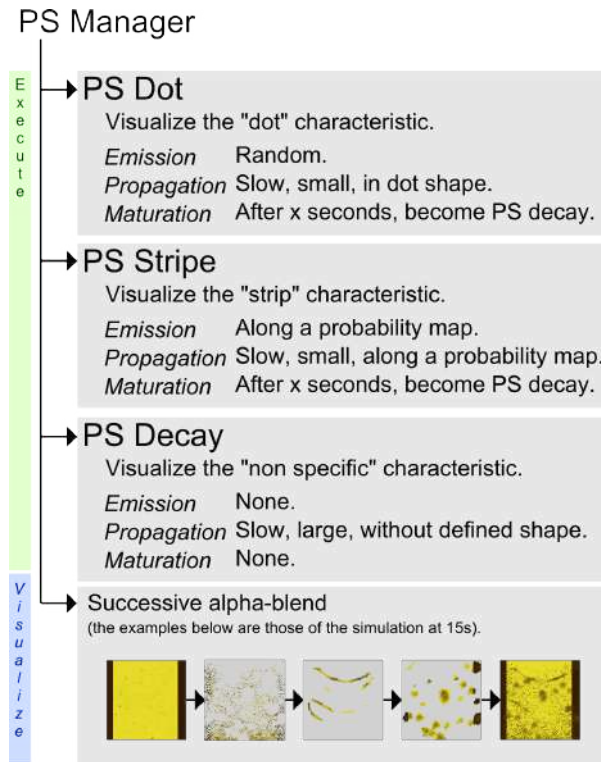


FIGURE 3.20 – Les 3 systèmes de particules utilisés pour obtenir une banane mature.

dans cette sections deux maladies différentes appliquées à nos F&Ls. Nos résultats sont inspirés d'images réelles.

La Fig. 3.21 montre deux pommes Granny Smith moches atteinte d'une infection de lenticelles, respectant néanmoins les standards Européens. Dans ce cas, nous avons mis en place deux types de système de particules (P1 et P2). P1 émet et propage de nouveaux systèmes de particules, puis les mature en système de particule de type P2. Le type P2 change lui seulement la couleur de ces particules (de plus en plus brun) lors de la maturation.

La Fig. 3.22 montre deux tomates cœur de bœuf atteintes de la maladie d'Anthracnose (causée par un champignon). Cette maladie les rend impropre à la consommation, il ne s'agit donc ici que d'essayer un autre type de maladie. Encore, une fois, notre implémentation est inspirée d'images réelles. Dans ce cas, nous avons également mis en place deux types de systèmes de particules similaires à l'exemple précédent, mais avec des paramètres différents (P1 a une émission plus proche de la zone d'origine et une propagation plus rapide et P2 a une maturation transformant les particules en jaune). Les textures obtenues étaient également utilisées pour faire du *displacement mapping*.



FIGURE 3.21 – Nos granny smiths atteintes d’une infection de lenticelles.



FIGURE 3.22 – Nos tomates cœur de bœuf atteintes de l’Anthracnose.



FIGURE 3.23 – Une véritable Granny Smith atteinte d’une infection lenticelles (tiré d’une image de l’Institut national de la recherche agronomique [58]).



FIGURE 3.24 – Une tomate réelle atteinte d’Anthracnose (tiré de Clemson Cooperative Extension [38]).

### 3.0.4 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté une approche pour générer des F&Ls de formes variées et visuellement réalistes. Pour illustrer la pertinence de notre approche, nous avons l’avons testé sur différents F&Ls tels que des pommes Granny Smith, des tomates cœur de bœuf et des bananes. Le squelette de la structure permet de contrôler aisément la forme des F&Ls ainsi que leur variabilité. Ainsi, en modifiant la structure du squelette, l’utilisateur peut facilement générer des F&Ls avec une déformation comme une grosseur. De plus, en séparant l’apparence du maillage 3D en différentes caractéristiques visuelles, notre approche permet d’organiser un type de système de particules par caractéristique visuelle et d’implémenter des comportements différents en terme d’émission, de propagation et de maturation. Chaque type de système de particules donne lieu à une texture qui représente chaque caractéristique visuelle à un moment donné de la simulation. Bien que notre méthode n’ait pas, par défaut, l’objectif de produire une simulation de F&Ls, elle permet tout de même de représenter différents phénomènes de déformations sur une

grande variété de F&Ls.

# Chapitre 4 : Études utilisateur, avec comparaison de Fruits et Légumes

Nous présentons dans ce chapitre le magasin virtuel et deux études utilisateurs. L'étude utilisateur 1 (cf. Sec. 4.2) évalue les réactions des participants ( $n = 142$ ) confrontés à des F&Ls virtuels de qualités différentes (de catégorie extra, de catégorie 1, de catégorie 2 et non-standardisés<sup>1</sup>) dans un magasin virtuel immersif. L'étude utilisateur 2 (cf. Sec. 4.3) fait une comparaison des réactions des participants ( $n = 196$ ) confrontés à des F&Ls standardisés et non-standardisés dans un magasin laboratoire, dans un magasin virtuel non-immersif et dans un magasin virtuel immersif. Pour ces deux études utilisateurs, nous utiliserons un magasin virtuel similaire, que nous présentons ci-dessous (cf. Sec. 4.1).

## 4.1 Le magasin virtuel, avec et sans immersion

Le magasin virtuel copie le magasin laboratoire in-situ d'Audencia Business School [9], afin de comparer plus aisément le magasin laboratoire et le magasin virtuel lors de l'étude utilisateur 2.

### 4.1.1 Description du magasin virtuel

Le magasin virtuel ainsi que l'ensemble des produits non-périssables (e.g. pâte, riz, etc.) ont été modélisés et texturés dans Blender v2.7. Ils ont ensuite été importés dans Unity3D v5.3. Le magasin virtuel a une taille d'environ  $12 \times 8 \times 2.7m$  (cf. Figs. 4.1 et 4.2) et possède : 4 rayons de produits non-périssable ( $3m$  de long ; chacun ayant  $\approx 1.000$  produits

---

1. Les F&Ls sont donc sains à la consommation.

non-périssable); un rayon F&Ls (3.4m de long) avec 8 types de F&Ls placés dans des cageots; une caisse automatique et une porte.

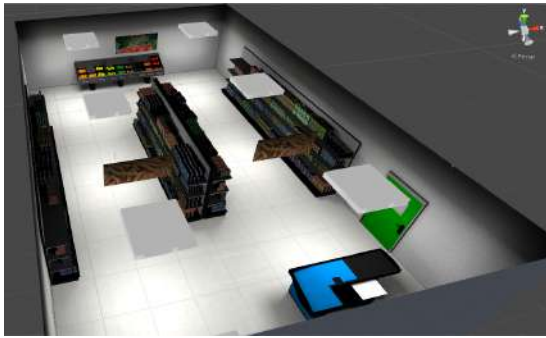


FIGURE 4.1 – Magasin virtuel, vue de dessus.



FIGURE 4.2 – Magasin virtuel, vue première personne, au début de l'expérience utilisateur.

#### 4.1.1.1 Le produits non-périssables

Les produits non-périssables ont été manuellement modélisés à partir des produits non-périssable du magasin laboratoire in-situ d'Audencia Business School et texturés à l'aide d'images Haute Définition (HD) des mêmes produits. Aucune des 2 études utilisateurs ne les a utilisés lors de l'expérience. Ils n'étaient présents que pour aider les utilisateurs à s'immerger dans et à s'approprier le magasin virtuel (cf. Hansen et Mossberg [80]).

#### 4.1.1.2 Les produits périssables

Les produits périssables (càd les F&Ls) ont été générés avec la méthode présentée dans le chapitre 3.0.4. Ils ont ensuite été manuellement sélectionnés et placés dans les cageots du rayon F&Ls (cf. Fig. 4.4). Les F&Ls normaux utilisés dans les expériences utilisateurs ont été validés comme étant normaux par des experts dans le champ nutritionnel (des professeurs d'Audencia Business School).

Les F&Ls ont été choisis en fonction de la saison à laquelle l'étude utilisateur a été réalisée (mars 2016 pour l'étude utilisateur 1 et septembre 2016 pour l'étude utilisateur 2). Les types de F&Ls utilisés sont les suivants :

- banane ;
- poire Conférence ;
- pomme Granny Smith ;
- pomme Gaia (pour l'étude 2 seulement) ;



- orange ;
- pomme de terre (taille moyenne) ;
- courgette ;
- carotte ;
- tomate (ronde) ;
- et aubergine (pour l'étude 2 seulement).

Les seules informations affichées au sujet des F&Ls étaient leur nom (e.g. Poire conférence) et leur prix par pièce. Le prix était calculé avec la moyenne des prix relevés dans 3 GMS de la région au moment de l'expérience. Ces informations étaient affichées sur une ardoise visible sur l'avant du stand pour l'étude utilisateur 1 et sur le mur à l'arrière du stand pour l'étude utilisateur 2 (cf. Fig. 4.4).



FIGURE 4.3 – Exemple de F&Ls avec différents degrés de déformation utilisé dans l'étude. De gauche à droite : carotte, tomate, orange, poire.



FIGURE 4.4 – Le stand de F&Ls utilisé dans l'étude utilisateur 1.

### 4.1.2 Interaction avec les produits

Le participant peut interagir avec l'EV de différentes façons : il peut sélectionner un produit, le manipuler (i.e. le faire tourner sur ses axes horizontaux et verticaux), le mettre dans le panier et le replacer dans le stand<sup>2</sup>.

La méthode de sélection utilise l'orientation de la tête. Un réticule transparent est constamment affiché au centre de la vue et aide le participant à viser. Le participant peut ainsi viser un produit et ensuite le sélectionner en pressant le *bouton sélection*. Une fois sélectionné, le produit apparaît au centre de la vue. Le participant peut manuellement (i) le faire tourner sur ses axes horizontaux et verticaux et (ii) agrandir ou réduire sa taille. Le participant peut replacer le produit sélectionné en pressant le bouton sélection ou le mettre dans le panier en pressant le *bouton achat*. Les produits placés dans le panier disparaissent de l'EV et sont stockés dans le panier (le panier est invisible pour le participant). À n'importe quel moment de l'expérience, le participant peut afficher le contenu de son panier en pressant le *bouton panier*. Le contenu du panier est affiché sous forme d'une fenêtre transparente et contient la liste des produits, leur prix et l'argent dépensé.

#### 4.1.2.1 La navigation

**Étude utilisateur 1** La navigation était réalisée par le biais d'une manette xBox (i.e. le contrôleur) et de l'Oculus DK2 (i.e. le HMD), cf. Fig. 4.7. L'utilisateur peut avancer et reculer en utilisant le joystick gauche du contrôleur (la vitesse de déplacement est limitée à la vitesse de marche d'une personne). La direction est contrôlée par la direction du regard (i.e. les mouvements du HMD) et par le joystick droit (la vitesse de rotation avec le joystick est également limitée).

**Étude utilisateur 2 : magasin virtuel non immersif** La navigation se fait au clavier et à la souris. La direction est contrôlée par la souris et le mouvement par le clavier à la manière d'un jeu vidéo à la première personne.

---

2. Pour les besoins de l'étude, il ne peut interagir qu'avec les F&Ls.

**Étude utilisateur 2 : magasin virtuel immersif** La navigation est identique à celle de l'étude utilisateur 1.

## 4.2 Étude utilisateur 1 : Réaction utilisateur face à des Fruits et Légumes de différentes qualités dans un magasin virtuel immersif

Il existe peu d'études ayant étudié l'impact des F&Ls non-standards sur le comportement des utilisateurs :

- Loebnitz et al. [114] ont étudié l'impact des F&Ls non-standards (2 fruits : pomme et citron ; et 2 légumes : carotte et aubergine) sur l'intention d'achat des participants ( $n = 964$ ). Pour ce faire, ils ont utilisé des photographies de vrais F&Ls de différentes qualités (normale, modérément normale et extrêmement anormale, cf. Fig. 4.5) et ont montré que les malformations de forme influencent (négativement) le comportement d'achat des participants **seulement si** le F&L dévie fortement de la norme établie, donc s'il est très déformé et semble anormal.
- de Hooge et al. [52] ont conduit une enquête en ligne à travers 5 pays d'Europe du Nord et ont relevé les préférences d'achat des participants ( $n = 4214$ ) vis à vis de 5 produits anormaux, dont 2 F&Ls (pomme et concombre cf. Fig. 4.6). Ils ont utilisé des photographies de vrais F&Ls de qualité optimale et "non-optimale" (i.e. non-standard), et ont montré que les résultats dépendent de la démographie, des caractéristiques des participants et des types d'imperfections (en terme d'apparence, d'étiquettes, de mise en rayon, etc.) et de l'endroit de l'achat.

### 4.2.0.1 Participants

Les participants étaient assis sur une chaise en face d'un bureau. Ils étaient immergés dans le supermarché virtuel à l'aide de l'Oculus Rift DK2<sup>3</sup> (pour la vision) et d'une manette Xbox 360<sup>4</sup> (pour les interactions de sélection et de navigation). Il n'y avait pas de son, afin (1) de pouvoir, si nécessaire, communiquer avec l'expérimentateur ; et (2) de

3. [https://en.wikipedia.org/wiki/Oculus\\_Rift#Development\\_Kit\\_2/](https://en.wikipedia.org/wiki/Oculus_Rift#Development_Kit_2/)

4. [https://en.wikipedia.org/wiki/Xbox\\_360\\_controller](https://en.wikipedia.org/wiki/Xbox_360_controller)

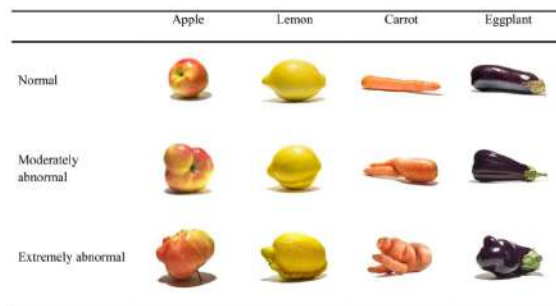


FIGURE 4.5 – Les photographies de F&Ls utilisés par Loebnitz et al. [114]

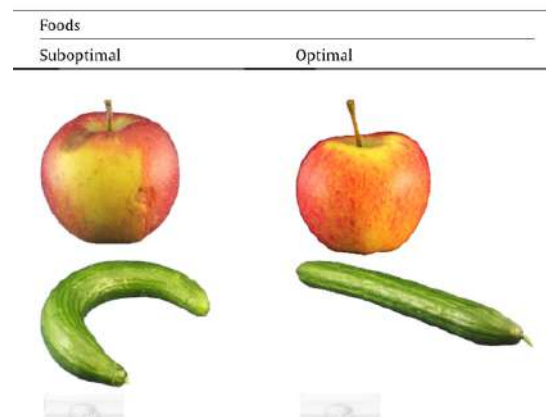


FIGURE 4.6 – Les photographies de F&Ls utilisés par de Hooge et al. [52]

ne pas influencer le consommateur.



FIGURE 4.7 – Disposition du protocole expérimental.

142 participants (92 femmes et 50 hommes) d'une école de commerce ont participé à notre expérience (Mars 2016). Les participants femmes étaient âgées de 19 à 23 ans ( $M = 20.43, SD = 0.7$ ) et les participants hommes étaient âgés de 19 à 22 ans ( $M = 20.36, SD = 0.8$ ). Parmi les 142 participants, 103 (72.5%) n'avaient aucune expérience avec la RV, 35 (24.6%) avaient un peu d'expérience avec la RV et 4 (2.8%) étaient familiarisés avec la RV. Nous avons également questionné la sensibilité des participants vis à vis du gaspillage alimentaire. 95 (66.9%) ont déclaré qu'ils se sentaient honteux de gaspiller de la nourriture face à quelqu'un et 114 participants (80.3%) ont déclaré qu'éviter de gaspiller de la nourriture étaient l'une de leur priorité (avec une note d'au moins 5 sur une échelle de Likert à 6 points). De plus 105 participants (74%) ont déclaré que le gâchis de nourriture était un problème important dans leur pays et 108 (76.1%) ont

déclaré que les déchets alimentaires avaient des conséquences majeures pour la planète (ils ont noté au moins 5 sur une échelle de Likert à 6 points).

Parce que le gaspillage alimentaire est accompagné d'un biais de désidérabilité sociale [46], (càd que le gaspillage alimentaire est susceptible de pousser les personnes à adapter leur comportement à celui de leur groupe d'appartenance) nous avons choisi d'utiliser une échelle de Likert à 6 points pour que les participants ne puissent pas avoir le choix d'une position neutre.

#### 4.2.0.2 Protocole Expérimental

Avant de commencer l'expérience, les participants devaient signer un formulaire de consentement et répondre aux enquêtes démographiques et à l'enquête sur leurs habitudes de consommation. L'équipement et le protocole leurs étaient ensuite présenté; il était précisé qu'ils seraient immergés dans un EV. Il était aussi indiqué qu'ils pouvaient arrêter l'expérience à tout moment s'ils se sentaient nauséeux ou s'ils le souhaitaient pour une autre raison. Chaque participant était de plus supervisé par un assistant tout au long de l'expérience afin de l'aider et de l'accompagner (e.g. en l'aidant à mettre en place l'HMD puis en lui donnant le contrôleur). Nous avons utilisé un plan d'expérience (*experiment design* en anglais) inter-sujet (*between-subject* en anglais) de 4 groupes. Les participants étaient placés aléatoirement dans l'un des 4 groupes. Chacun de ces groupes correspondait à une déformation des F&Ls plus ou moins apparente :

- Groupe 0 : F&Ls normaux, avec 35 participants. Il s'agit du groupe contrôle qui correspondant aux F&Ls standards (de catégorie 1) vendus en GMS;
- Groupe 1 : F&Ls légèrement déformés, avec 36 participants;
- Groupe 2 : F&Ls déformés, avec 35 participants;
- Groupe 3 : F&Ls très déformés, avec 36 participants.

Afin de vérifier l'homogénéité des groupes, nous avons calculé le chi-2 (pour la variable : sexe) et les ANOVAs (pour les variables : âge et niveau de prise de conscience du gaspillage alimentaire). Les 4 groupes étaient homogènes vis à vis du sexe ( $\chi_2 = 1.308$ ;  $p = 0.727$ ), de l'âge ( $F(3,138) = 1.083$ ;  $p = 0.358$ ) et du niveau de prise de conscience du gaspillage alimentaire mesuré à l'aide d'une échelle de Likert à 6-points (min = 15, max = 36,  $M = 30.00$ ,  $SD = 4.554$ ;  $F(3,138) = 0.442$ ;  $p = 0.723$ ). Chaque participant a ensuite réalisé

**Pour votre anniversaire, vos amis vous ont offert un kit « Dîner à la maison ».**

Le week-end prochain un cuisinier amateur (d'une célèbre émission TV de cuisine) viendra chez vous (le samedi ou le dimanche soir à votre préférence), et vous livrer un repas qu'il aura préparé pour vous et 3 de vos amis dans sa cuisine.

Le menu est gardé secret et le cuisinier est chargé d'acheter l'ensemble des produits qu'il/ elle utilisera dans son menu, à l'exception des fruits et légumes, que le cuisinier vous laisse choisir et acheter. Afin de les acheter, le cuisinier vous donne un budget de 20 euros que vous pouvez totalement dépenser ou non.

A coté de votre habitation, il y a deux Supermarchés, un Super U et un d'une autre grande marque. Vous décidez aujourd'hui d'entrer dans le Super U et d'y acheter vos fruits et légumes.

Pour votre « Dîner à la maison », vous devez acheter au moins deux différents types de fruits et au moins deux différents types de légumes selon vos préférences, dans les quantités que vous jugez adéquates pour 4 personnes.

Selon votre appréciation de l'offre de fruits et légumes dans ce Super U, vous pouvez y acheter soit l'ensemble des fruits et légumes, soit une partie, soit aucun. En effet, vous pourrez au besoin acheter le reste des fruits et légumes dans l'autre Supermarché où vous devez de toute façon vous rendre le lendemain pour y récupérer une commande faite par Internet.

Une fois vos achats de fruits et légumes (et seulement de fruits et légume) réalisés, vous irez à la caisse où l'ensemble des produits sera pesé et le total dépensé sera affiché.

Finalement, nous vous demanderons votre opinion sur l'offre de fruits et légumes de ce Super U, ainsi que sur l'image que ce magasin et Super U en général vous donne.

TABLE 4.1 – Notre scénario expérimental. Si les participants avaient des doutes sur les instructions, ils pouvaient demander aux assistants de les aider à travers l'expérience.

le scénario décrit en Tab. 4.1. Si le participant avait des questions vis à vis du scénario, il/elle était encouragé(e) à questionner l'assistant. Une fois le scénario lu, ils réalisaient une session d'entraînement avant de commencer l'expérience. Une fois l'expérience terminée, ils devaient remplir un questionnaire post-expérimental.

### 4.2.1 La session d'entraînement

La session d'entraînement avait pour objectif d'habituer les participants à naviguer dans le magasin virtuel et de les habituer à interagir avec des objets virtuels, càd à la sélection, à la manipulation et à l'achat des FaV. Cette phase de familiarisation se présentait comme un tutoriel où les différentes informations étaient présentées de façon textuelle à l'écran et permettaient à l'utilisateur de comprendre comment utiliser le contrôleur. Une fois la fenêtre textuelle fermée, une flèche 3D clignotante apparaissait dans l'EV et une nouvelle fenêtre leur demandait de se rendre sous la flèche, ceci afin de les forcer à se déplacer jusqu'à un point précis. Une fois sous la flèche, ils devaient sélectionner un paquet de pâtes en face d'eux, et, après l'avoir inspecté, le remettre dans le rayon. Ensuite, une autre flèche apparaissait près d'un paquet de riz. Ils devaient se rendre sous cette nouvelle flèche, puis acheter un paquet de riz. Une fois le paquet acheté, les participants devaient vérifier leur panier puis se rendre à la caisse pour terminer l'entraînement. Chaque étape et méthode d'interaction étaient donc clairement expliquées à l'utilisateur. L'entraînement prenait environ 3 minutes.

### 4.2.2 L'achat des Fruits et Légumes dans le magasin virtuel

La tâche que les participants devaient accomplir est décrite en détail dans le scénario (cf. Tab. 4.1). Les participants, immergés dans le magasin virtuel, devaient traverser le magasin (ceci afin d'augmenter le sentiment de présence), avant d'atteindre le rayon F&Ls. Ils inspectaient ensuite les F&Ls qu'ils décidaient ou non d'acheter.

**Comportement du consommateur** Une fois que les participants étaient satisfaits avec les F&Ls achetés, ils se rendaient à la caisse pour terminer l'expérience. Pour chaque participant, le total des F&Ls achetés (par type de F&L), le temps passé à regarder les F&Ls (par type de F&L), le total dépensé (par type de F&L) et le temps total de

l'expérience étaient sauvegardés.

**Perception des Fruits et Légumes** Une fois l'expérience terminée, les participants enlevaient le visiocasque puis étaient conduits vers un ordinateur pour répondre à un questionnaire (évalué sur une échelle de Likert à 6 points) sur leur perception des F&Ls utilisés dans l'expérience. Notons qu'ils devaient répondre d'abord aux questions sur les fruits, puis aux questions sur les légumes. De plus, d'après les résultats d'une analyse en composante principale (PCA) [10] nous avons décidé de regrouper nos critères en 3 catégories : l'Impression (questions I1 à I6); la Qualité (questions Q1 à Q6) et le Prix (items P1 à P2). Ces groupements nous permettent une analyse plus globale des sentiments des participants vis à vis des F&Ls virtuels.

| ID | Question   |
|----|--|
| I1 | La couleur de ces fruits (ou légumes) me donne l'image de produits de qualité                  |
| I2 | Le calibre/la taille de ces fruits (ou légumes) me donne l'image de produits de qualité        |
| I3 | La forme de ces fruits (ou légumes) me donne l'image de produits de qualité                    |
| I4 | La texture apparente de ces fruits (ou légumes) me donne l'image de produits de qualité        |
| I5 | La fraîcheur que je perçois de ces fruits (ou légumes) me donne l'image de produits de qualité |
| I6 | L'apparence extérieure de ces fruits (ou légumes) me donne l'image de produits de qualité      |
| Q1 | Je serai satisfait par leur qualité organoleptique (ou gustative)                              |
| Q2 | Je serai satisfait par leur qualité nutritionnelle   |
| Q3 | Je serai satisfait par leur qualité sanitaire (absence de risque pour la santé)                |
| Q4 | Je serai satisfait par leur facilité de préparation  |
| Q5 | Je serai satisfait en pensant aux effets de leur production sur l'environnement                |
| Q6 | Je serai satisfait de leur qualité globale   |
| P1 | Les prix de ces fruits (ou légumes) sont justes  |
| P2 | Les prix de ces fruits (ou légumes) sont appropriés  |

TABLE 4.2 – Le questionnaire d'impression (I), de qualité (Q) et de prix (P) sur la perception des F&Ls.

**Immersion, présence et interaction de manipulation** Les participants étaient également interrogés sur leur sentiment vis à vis de la présence dans le magasin virtuel ainsi que sur les mécanismes d'interaction utilisés. Nous avons pour cela utilisé une version légèrement modifiée et réduite du questionnaire de présence (le *Presence Questionnaire* [197]) évalué sur une échelle de Likert à 6 points. En effet, notre expérience ne se concentrant pas sur la présence dans le magasin virtuel, nous avons ainsi préféré cette version plus courte. Nous voulions surtout vérifier que les participants avaient des niveaux comparables de présence et de facilité d'interaction dans notre magasin virtuel ceci afin de pouvoir comparer leur perception des F&Ls virtuels ainsi que leur comportement de consommateur.



De la même manière que précédemment, à l'aide des résultats d'une analyse en composante principale, nous avons décidé de grouper les questions dans 2 catégories : Interaction (questions Int1 à Int8) et Présence (questions Pr1 à Pr4).

| ID   | Question  |
|------|---|
| Int1 | Les interactions avec ce magasin virtuel m'ont semblé naturelles  |
| Int2 | Mes déplacements dans ce magasin virtuel étaient naturels   |
| Int3 | J'étais capable d'anticiper les conséquences des mouvements que je faisais  |
| Int4 | J'étais parfaitement en mesure d'explorer activement ce magasin virtuel de façon visuelle                         |
| Int5 | La sensation de déplacement à l'intérieur de ce magasin virtuel était parfaitement réaliste                       |
| Int6 | J'étais parfaitement capable d'examiner les objets virtuels en détail   |
| Int7 | Je pouvais examiner les objets sous tous les angles que je voulais sans difficulté                                |
| Int8 | A la fin de l'expérience, j'étais parfaitement capable de me déplacer dans et d'interagir avec ce magasin virtuel |
| Pr1  | D'une certaine façon, j'ai eu l'impression que ce magasin virtuel m'entourait                                     |
| Pr2  | Je me suis senti(e) présent(e) dans ce magasin virtuel  |
| Pr3  | Je n'étais pas conscient(e) de mon environnement réel   |
| Pr4  | J'étais complètement captivé(e) par ce magasin virtuel  |

TABLE 4.3 – Le questionnaire d'interaction (Int) et de présence (Pr) des participants

La participation à l'étude demandait donc une vingtaine de minutes par participant : 10 minutes pour compléter tous les questionnaires (pré et post expérience) et 10 autres minutes pour réaliser l'entraînement et faire l'expérience dans le magasin virtuel.

### 4.2.3 Résultats

Dans cette section, nous présentons nos résultats sur l'immersion (càd présence et interaction); le comportement des participants par rapport aux F&Ls (nombre de F&Ls achetés, temps passé, etc.) et sur la perception des participants quant à l'aspect des F&Ls (impression, qualité et prix).

Pour chaque sous-section, nous avons d'abord calculé les coefficients de l'alpha de Cronbach pour valider la cohérence interne des questions posées par catégorie. Nous avons ensuite réalisé une analyse de variance (ANOVA avec une correction de Bonferroni) pour mettre en évidence les différences entre les 4 conditions étudiées. Finalement, si les ANOVAs mettaient en évidence des différences significatives, nous réalisons un test de Student (t-test) bidirectionnel (après un test d'égalité des variances avec le test de Levene) pour analyser les résultats. La normalité des distributions des variables était vérifiée avec le test de Shapiro-Wilk; les variables liées à la RV (Présence :  $p = 0.170$ ; et Interaction :  $p = 0.250$ ) suivaient ainsi une distribution normale, tandis que les variables liées au marketing (Impression, Qualité et Prix) ne suivaient pas une distribution normale ( $p < 0.05$ ). C'est

néanmoins souvent le cas en recherche marketing, car les participants ont tendance à être biaisés vers des réponses jugées positives [2].

#### 4.2.3.1 Présence et Interaction

Nous avons confirmé que les participants partageaient une expérience comparable en termes de présence dans le magasin virtuel et que les mécanismes d'interaction que nous avons proposés (via le contrôleur de Xbox One) leur permettait de naviguer dans le magasin et de manipuler les objets d'une façon simple et naturelle. Les coefficients de l'alpha de Cronbach de la catégorie Présence (un groupe de 4 items) et Interaction (un groupe de 8 items) sont respectivement égaux à 0.901 et 0.791. Étant donné que ces coefficients sont au dessus de 0.7, le regroupement est acceptable [135]. Les ANOVAs n'ont pas détecté de différences significatives entre les 4 conditions (cf. Tab. 4.4). Par conséquent, nous avons continué en considérant que l'expérience était comparable (d'un point de vue RV) pour tous les participants, quelles que soient les conditions en termes de présence, d'immersion et d'interactions à l'intérieur du magasin virtuel.

TABLE 4.4 – Moyenne, écart-type ( $\sigma$ ) et ANOVAs pour la Présence (groupe 4 items, valeur maximum de 24) et l'Interaction (groupe 8 items, valeur maximum de 48).

| Conditions  | 0 (n=35) |          | 1 (n=36) |          | 2 (n=35) |          | 3 (n=36) |          | ANOVA    |       |
|-------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-------|
|             | M        | $\sigma$ | M        | $\sigma$ | M        | $\sigma$ | M        | $\sigma$ | F(3,138) | p     |
| Présence    | 14.057   | 3.804    | 9.336    | 4.309    | 7.362    | 4.810    | 14.306   | 4.616    | 1.439    | 0.234 |
| Interaction | 24.800   | 8.224    | 24.861   | 12.944   | 28.171   | 15.086   | 26.889   | 8.808    | 1.329    | 0.268 |

#### 4.2.3.2 Le comportement des consommateurs vis à vis des Fruits et Légumes moches

Les ANOVAs mettent en avant une différence entre les 4 conditions seulement vis à vis du temps passé à manipuler les fruits (cf. Tab. 4.5). Par conséquent, pour confirmer ce résultat, nous faisons un test de Levene pour vérifier l'égalité des variances entre les conditions 1 et 3 ( $F(1, 70)=0.219$ ,  $p=0.641$ , donc l'hypothèse de l'égalité des variances est acceptée) suivi par un test de Student pour comparaison des moyennes). Ces tests ont mis en évidence une différence significative entre les fruits "fortement déformés" (i.e. condition 3) et les fruits "légèrement" déformés (i.e. condition 1). Les participants ont ainsi passé significativement plus de temps à manipuler les fruits fortement déformés. Finalement, les

différences entre les 4 conditions étudiées vis à vis du temps passé à manipuler les légumes ainsi que le nombre de fruits et de légumes achetés ne sont pas significatives.

TABLE 4.5 – Moyenne, écart-type ( $\sigma$ ) et ANOVAs pour le comportement des consommateurs sur : le nombre de fruit (Nb F) et de légume (Nb L) acheté ainsi que le temps passé à manipuler les fruits (Temps F) et les légumes (Temps L).

| Conditions | 0 (n=35) |          | 1 (n=36) |          | 2 (n=35) |          | 3 (n=36) |          | ANOVA     |       |
|------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|-------|
|            | M        | $\sigma$ | M        | $\sigma$ | M        | $\sigma$ | M        | $\sigma$ | F(3, 138) | p     |
| Nb F       | 7.857    | 3.069    | 7.556    | 3.938    | 7.343    | 3.834    | 6.889    | 2.692    | 0.503     | 0.681 |
| Temps F    | 43.203   | 27.198   | 33.135   | 24.429   | 39.957   | 26.697   | 50.061   | 26.803   | 2.575     | 0.056 |
| Nb L       | 9.886    | 4.013    | 10.139   | 5.027    | 9.657    | 4.935    | 10.361   | 5.389    | 0.139     | 0.936 |
| Temps L    | 57.954   | 38.425   | 55.690   | 45.004   | 58.024   | 34.857   | 65.166   | 35.010   | 0.409     | 0.746 |

#### 4.2.4 La perception des consommateurs vis à vis des Fruits et Légumes moches

Le calcul de l'alpha de Cronbach pour les 3 catégories étudiées (càd l'Impression, groupant 6 items, la Qualité, groupant 6 items et le Prix, groupant 2 items) sont respectivement égaux à 0.917, 0.912 et 0.879 pour les fruits et égaux à 0.953, 0.924 et 0.876 pour les légumes. Ces résultats sont suffisant pour étudier leur groupement respectif. L'ANOVA met en avant une différence entre les 4 conditions étudiées pour les différentes catégories (à l'exception de la perception du prix des fruits cf. Tab. 4.6). Pour confirmer ces résultats, nous avons réalisé un test de Levene pour vérifier l'égalité des variances suivi par des tests de Student pour comparer les moyennes. Pour la catégorie Impression, tous les tests de Levene ont été acceptés, par conséquent, les différences suivantes sont significatives :

- Les fruits de la condition 0 (le groupe de contrôle) sont perçus comme significativement meilleurs que ceux de la condition 3 ("fortement déformés") :  $F(1,69) = 1.149$  ;  $p=0.287$  ;  $t=2.119$ ,  $p=0.038$ ,  $df=69$ .
- Les légumes de la condition 0 (le groupe de contrôle) sont également perçus comme significativement meilleurs que ceux de la condition 3 ("fortement déformés") :  $F(31,69) = 0.421$  ;  $p = 0.519$  ;  $t = 2.191$ ,  $p = 0.032$ ,  $df=69$ .
- Les fruits et légumes de la condition 2 (déformés) sont perçus comme significativement meilleurs que ceux de la condition 3 ("fortement déformés") avec respectivement :  $F(1,69) = 0.033$  ;  $p = 0.857$  ;  $t = 2.548$ ,  $p=0.013$ ,  $df=69$  et  $F(1,69)=0.195$  ;

$p = 0.660$  ;  $t = 2.742$ ,  $p = 0.008$ ,  $df = 69$ .

Tandis que pour la catégorie Qualité les différences significatives sont :

- Les fruits et légumes de la condition 0 (le groupe de contrôle) sont perçus comme significativement meilleurs que ceux de la condition 1 (“légèrement déformés”), avec respectivement :  $F(1,69) = 2.473$  ;  $p = 0.120$  ;  $t = 2.044$ ,  $p = 0.045$ ,  $df = 69$  et  $F(1,69) = 0.976$  ;  $p = 0.327$  ;  $t = 2.131$ ,  $p = 0.037$ ,  $df = 69$ .
- Les légumes de la condition 0 (le groupe de contrôle) sont également perçus comme significativement meilleurs que ceux de la condition 3 (“fortement déformés”) :  $F(1, 69) = 1.316$ ;  $p = 0.255$ ;  $t = 2.554$ ,  $p = 0.013$ ,  $df = 69$ .
- Les fruits et les légumes de la condition 1 (“légèrement déformés”) sont perçus comme significativement moins bons que ceux de la condition 2 (déformés), avec respectivement :  $F(1, 69) = 3.212$ ;  $p = 0.077$ ;  $t = -2.938$ ,  $p = 0.004$ ,  $df = 69$  et  $F(1, 69) = 1.837$ ;  $p = 0.180$ ;  $t = -3.221$ ,  $p = 0.002$ ,  $df = 69$ .
- Les fruits et les légumes de la condition 2 (déformés) sont perçus comme significativement meilleurs que ceux de la condition 3 (“fortement” déformés) avec respectivement :  $F(1, 69) = 3.251$ ;  $p = 0.076$ ;  $t = 2.809$ ,  $p = 0.006$ ,  $df = 69$  et  $F(1, 69) = 2, 440$ ;  $p = 0.123$ ;  $t = 3.690$ ,  $p = 0.000$ ,  $df = 69$ .

Finalement, vis à vis de la catégorie Prix, une différence significative existe pour les légumes entre la condition 2 (déformés) et la condition 3 (“fortement déformés”) : ils sont perçus comme étant significativement moins chers :  $F(1,69) = 0.041$  ;  $p = 0.841$  ;  $t = 2.781$ ,  $p = 0.007$ ,  $df = 69$ .

TABLE 4.6 – Moyenne, écart-type ( $\sigma$ ) et ANOVAs pour la perception des consommateurs sur l'Impression (groupe de 6 items, valeur maximum 36), la Qualité (groupe de 6 items, valeur maximum 36) et Prix (groupe de 2 items, valeur maximum 12).

| Conditions | 0 (n=35) |          | 1 (n=36) |          | 2 (n=35) |          | 3 (n=36) |          | ANOVA     |       |
|------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|-------|
| Fruits     | M        | $\sigma$ | M        | $\sigma$ | M        | $\sigma$ | M        | $\sigma$ | F(3, 138) | p     |
| Impression | 20.286   | 7.201    | 18.250   | 7.044    | 20.600   | 6.035    | 16.944   | 6.052    | 2.444     | 0.067 |
| Quality    | 23.457   | 5.055    | 20.583   | 6.656    | 24.657   | 4.86     | 20.778   | 6.616    | 4.165     | 0.007 |
| Price      | 8.229    | 1.972    | 8.139    | 1.900    | 8.486    | 1.704    | 7.833    | 1.444    | 0.826     | 0.482 |
| Légumes    | M        | $\sigma$ | M        | $\sigma$ | M        | $\sigma$ | M        | $\sigma$ | F(3, 138) | p     |
| Impression | 20.943   | 7.129    | 18.556   | 6.855    | 21.657   | 6.471    | 17.278   | 6.968    | 3.148     | 0.027 |
| Quality    | 22.914   | 5.442    | 19.833   | 6.661    | 24.400   | 5.169    | 19.333   | 6.325    | 5.973     | 0.001 |
| Price      | 8.200    | 1.828    | 7.972    | 1.934    | 8.657    | 1.514    | 7.639    | 1.570    | 2.187     | 0.092 |

### 4.2.5 Discussion

Nous avons tout d'abord montré qu'il n'y avait pas de différences significatives dans le nombre moyen de F&Ls achetés par nos participants quel que soit le niveau de déformation de ces F&Ls. Ce résultat est différent de celui trouvé par Loebnitz et al. [114], pour qui les participants achetaient significativement moins de F&Ls si ceux-ci étaient très déformés. Cette différence pourrait être expliquée par le fait que Loebnitz et al. [114] n'utilisaient que des photographies, alors que nous utilisons des F&Ls virtuels en 3D que les participants pouvaient manipuler. La différence peut aussi s'expliquer par notre scénario : il pourrait en effet avoir biaisé les participants en les incitant fortement à acheter des F&Ls, même s'il était explicitement écrit (puis dit par les assistants) que les participants n'étaient pas obligés d'acheter des F&Ls si ces derniers ne leur convenaient pas. Pour limiter ce - possible - effet de biais, nous aurions pu demander d'acheter tous les ingrédients nécessaires au dîner et pas seulement les F&Ls. Nous avons également noté qu'il y avait une seule différence significative de prix entre les F&Ls, où les légumes déformés (condition 2) sont perçus comme significativement moins chers que les légumes très déformés (condition 3). Parmi les autres différences, les F&Ls de la condition 1 (légèrement déformés) et 3 (fortement déformés) sont significativement perçus comme de moins bonne qualité ( $p \leq 0.001$ ) que ceux de la condition 2 (déformés). Cette différence est intéressante, car les F&Ls de la condition 2 sont plus déformés que ceux de la condition 1. Pris individuellement, les F&Ls des conditions 1 et 3 ont tous des notes plus basses dans les critères de couleurs, textures, formes, etc., que ceux de la condition 2 (même si les différences ne sont pas toutes significatives sur ces critères).

Au regard de ces résultats, nous formulons l'hypothèse que les F&Ls de la condition 3 sont trop déformés pour être perçus de bonne qualité, provoquant en retour un score plus bas dans tous les critères de qualité (et donc pas seulement sur la forme). Notons que les F&Ls de la condition 3 ne nous sont pas apparus comme irréalistes, lorsqu'ils sont comparés à des exemples réels, tels que par exemple ceux des photos utilisées par Loebnitz et al. [114]. Il serait intéressant, dans une future expérience, de comparer les résultats entre les F&Ls réels et virtuels.

De plus, toujours au regard des résultats obtenus vis à vis des critères de qualité, il est

important de rappeler que la raison pour laquelle nous n'avons fait varier que la forme des F&Ls (et non d'autres phénomènes jouant sur la couleur et la texture, tels que le pourrissement et les parasites) est car les normes commerciales Européennes n'acceptent pas les F&Ls pourris, contaminés, et généralement d'apparence impropre à la consommation.

#### 4.2.6 Conclusion

Pour rappel, nous voulions avec cette étude utilisateur montrer que la RV peut être utilisée comme outil permettant de réaliser des études marketing difficiles à réaliser en magasins réels. Nous nous sommes évidemment concentrés sur les produits frais, ici les F&Ls parce qu'il s'agit d'un rayon à la fois intéressant pour la recherche marketing et complexe à appréhender. Nous avons discuté dans les sections précédentes de l'importance des rayons F&Ls et de la difficulté de réaliser des études marketing sur ce rayon. Actuellement, la RV a été utilisée dans de nombreuses études marketing, mais soit avec des produits en boîtes, soit avec des F&Ls non-réalistes (i.e. en copiant un seul modèle 3D par type de F&L). Nous pensons, avec notre étude à l'appui, que la RV peut être utilisée pour conduire des études marketing sur les F&Ls frais, et sur d'autres produits frais, périssables, ou susceptibles de connaître des variations d'apparence (entre produits et au cours du temps).

Nous avons en effet étudié, dans une étude marketing se focalisant sur les F&Ls dans un magasin virtuel immersif, la manière dont les consommateurs perçoivent et achètent des F&Ls anormaux. Il était présenté aux participants 8 types de F&Ls différents, séparés en 4 groupes de déformation (sans déformation, légèrement déformés, déformés et fortement déformés). Nos résultats montrent qu'il n'y a pas de différences significatives entre le nombre moyen de F&Ls achetés par nos participants quel que soit leur niveau de déformation. Néanmoins des différences ont été relevées entre les F&Ls de différents niveaux de déformation vis à vis de la qualité perçue (regroupant 6 items). Une approche expérimentale différente peut être basée sur des mesures répétées, dans laquelle chaque participant aurait vu en ordre aléatoire les 4 conditions. Ce plan expérimental nous aurait permis de voir les différences plus clairement. Cependant, au vu du nombre de sujets et du nombre de conditions, mettre en place une étude à mesures répétées nous aurait demandé plus de temps que celui qui nous était impartis pour réaliser l'étude.

Cependant, une question importante reste ouverte : nous avons montré que la RV immersive était un outil capable de relever des différences entre groupes pour les F&Ls frais, et que quelle que soit la catégorie des F&Ls, le format de ceux-ci ne modifie par le sentiment de présence et l’immersion associée à l’EV. Cependant, il est encore nécessaire de comparer nos résultats à des F&Ls non virtuels. Ceci nous permettrait de mettre en évidence les différences que peut engendrer la RV dans les études marketing immersives pour les produits frais (dans notre cas, les F&Ls). C’est l’objectif de notre seconde étude, que nous présentons ci-dessous.

### **4.3 Étude utilisateur 2 : Réaction utilisateur face à des Fruits et Légumes standards et non-standards dans un magasin laboratoire réel, un magasin virtuel non immersif et dans un magasin virtuel immersif**

Dans l’étude utilisateur précédente, nous nous sommes intéressés à la comparaison de différents types de déformations lors de l’achat de F&Ls et avons montré que les F&Ls déformés sont perçus comme de moins bonne qualité que les F&Ls non-déformés. Dans cette étude, nous nous intéressons à la comparaison de différents types d’environnements lors de l’achat de F&Ls : (i) magasin laboratoire réel ; (ii) magasin virtuel non immersif et (iii) magasin virtuel immersif.

Notons qu’un magasin dit laboratoire est communément un magasin “jouant un rôle de laboratoire au sein d’un réseau d’enseigne dans la mise en œuvre de nouveaux concepts d’organisation, d’implantation ou de merchandising” [55]. Il existe des différences entre les magasins dit *réels* (càd magasin physiquement présent, e.g. magasin laboratoire) et les magasins virtuels (immersif ou non), cf. Sec. 2.4.3. Ces différences peuvent être présentes dans le comportement consommateur (e.g. différences de dépenses) mais également dans les émotions et attitudes de l’utilisateur.

Dans une étude récente, Van Herpen et al. [184] ont comparé le comportement d’achat entre un magasin laboratoire, un magasin virtuel (non-immersif) et des photos de produits.

Les produits étaient : des F&Ls, des biscuits et différents types de laits. Ils ont montré que :

- Le magasin virtuel suscite un comportement plus proche de celui en laboratoire que celui suscité par les photos de produits. Ces effets sont visibles sur : le nombre de produits sélectionnés (pour les différents types de laits), les dépenses (pour les différents types de laits) et la zone d’achat dans les rayons (pour les différents types de laits et les biscuits) ;
- Sur le reste des variables étudiées, il existe des différences de comportements entre le magasin laboratoire et celui virtuel. Ceci est en particulier visible pour les F&Ls sur le nombre de produits sélectionnés ; les dépenses et l’effet des promotions.

La différence entre ces types de magasins est peut-être due au degré d’immersion qu’il existe entre ces méthodes. Il convient donc de savoir si un magasin virtuel plus immersif va impliquer des comportements semblables à ceux que les utilisateurs produiraient dans un magasin réel.

Cependant, il n’existe, à notre connaissance, pas d’étude utilisateur vérifiant les différences entre un magasin virtuel non-immersif et un immersif, ou entre un laboratoire et un environnement virtuel immersif. Nous proposons donc ici de la réaliser, et de nous concentrer en particulier sur les F&Ls standards et non-standards.

Une étude utilisateur dans un magasin virtuel non-immersif est plus rapide à mettre en place et est moins coûteuse à réaliser que dans un magasin virtuel immersif. Cependant, l’immersion est plus importante dans un magasin virtuel immersif que dans un magasin virtuel non-immersif. Nous vérifions ici s’il existe effectivement des différences comportementales entre ces types de magasins. Cette étude nous permettra d’appréhender le degré d’immersion requis pour générer des comportements proches de ceux que l’utilisateur réaliserait en réel. Les résultats nous permettront donc de vérifier aussi quel est le matériel requis (i.e., visiocasque ou écran d’ordinateur) pour conduire des études marketing.

### 4.3.1 Participants

196 participants (110 femmes et 86 hommes) d’une école de commerce ont participé à notre expérience (Septembre 2016). Les participants femmes étaient âgées entre 19 et 22 ans ( $M = 19.91$ ,  $SD = 0.6$ ) et les participants hommes étaient âgés entre 18 et 22 ans



( $M = 19.95, SD = 0.7$ ).

Parmi les 196 participants, 180 (72.5%) avaient peu ou aucune expérience avec la RV et 16 (8.2%) étaient familiarisés avec la RV. Nous avons également questionné la sensibilité des participants vis à vis du gaspillage alimentaires. 126 (64.3%) ont déclaré qu'ils se sentaient honteux de gaspiller de la nourriture face à quelqu'un et 135 participants (68.9%) ont déclaré qu'éviter de gaspiller de la nourriture était l'une de leurs priorités (note  $\geq 5$  sur une échelle de Likert à 6 points). De plus 174 participants (88.8%) ont déclaré que le gâchis de nourriture était un problème important dans leur pays et 165 (84.2%) ont déclaré que les déchets alimentaires avaient des conséquences majeures pour la planète (note  $\geq 5$  sur une échelle de Likert à 6 points).

### 4.3.2 Protocole Expérimental

Nous avons utilisé un plan d'expérience avec 3 groupes indépendants et 2 modalités par groupe. Chaque groupe est dans un environnement différent (laboratoire, virtuel non-immersif et virtuel immersif), mais tous sont mesurés avec la modalité "achats de F&Ls standards" et "achats de F&Ls non-standards". Il s'agit donc d'un plan mixte **S30<Environnement> \* FaVs**. Ajoutons que les F&Ls virtuels étaient les mêmes dans les environnements virtuels.

- Groupe 1 (G1) : Magasin laboratoire. Il s'agit du groupe contrôle qui évalue en réel ( $n = 67$ ) ;
- Groupe 2 (G2) : Magasin virtuel (non-immersif) ( $n = 68$ ) ;
- Groupe 3 (G3) : Magasin virtuel immersif ( $n = 61$ ).

Les groupes n'ont pas été balancé à cause d'erreur de manipulation dans le groupe 3.

Les participants étaient placés aléatoirement dans l'un des 3 groupes. Pour limiter l'effet d'ordre, la moitié des participants de chaque groupe suivait la modalité F&Ls standards puis F&Ls non-standards et l'autre F&Ls non-standards puis F&Ls standards.

Pour être sûr que les 3 sous-groupes (G1, G2 et G3 ; cf. Sec. 4.3.2) étaient homogènes, nous avons calculé le  $\chi^2$  (pour les variables : sexe et expérience avec la RV) et les ANOVAs (pour les variables : age et niveau prise de conscience du gaspillage alimentaire). Les 3 sous-groupes sont homogènes vis à vis du sexe ( $\chi^2 = 0.172; p = 0.813$ ), de l'expérience avec la RV ( $\chi^2 = 0.116; p = 0.944$ ), de l'age ( $F(2, 193) = 1.875; p = 0.156$ ) et du niveau de prise



(a) Participant du groupe G1



(b) Participant du groupe G2



(c) Participant du groupe G3

FIGURE 4.8 – Des participants des groupes G1, G2 et G3



(a) F&amp;Ls standards



(b) F&amp;Ls non-standards

FIGURE 4.9 – Des F&amp;Ls réels standards et non-standards

de conscience du gaspillage alimentaire (respectivement, pour les 4 éléments ci-dessus,  $F(2, 193) = 1.415; p = 0.246$ ,  $F(2, 193) = 2.107; p = 0.124$ ,  $F(2, 193) = 0.877; p = 0.418$  et  $F(2, 193) = 1.013; p = 0.365$ . Pour les mêmes raisons que l'étude précédente, nous avons choisi une échelle paire, ici une échelle de Likert à 6 points.

Tandis que les participants du G1 se déplaçaient librement, les participants du G2 et du G3 étaient assis sur une chaise en face d'un bureau. Les participants du G2 interagissaient avec la souris et le clavier tandis que ceux du G3 tenaient une manette Xbox 360 (pour les interactions de sélection et de navigation). Ils étaient de plus immergés dans le supermarché virtuel à l'aide de l'Oculus Rift DK2.

Les magasins virtuels (immersif ou non) fonctionnaient sur un ordinateur fixe et affichaient un taux d'affichage stable de 75Hz. Il n'y avait pas de son, afin : (1) de pouvoir, si nécessaire, communiquer avec l'assistant ; et (2) de ne pas influencer le participant.

Avant de commencer l'expérience, les participants devaient signer un formulaire de consentement, ainsi que répondre à une enquête démographique et sur leurs habitudes consommateur. Chaque participant lisait ensuite le scénario présenté. S'il/elle avait des questions vis à vis du scénario, il/elle était encouragé/e à questionner l'assistant (chaque participant était supervisé par un assistant tout au long de l'expérience).

Il/elle suivait l'expérience avec une modalité (i.e. F&Ls standards ou non-standards). Une fois celle-ci terminée, il/elle devait remplir un questionnaire post-expérimental. Il/elle suivait ensuite l'expérience avec la modalité restante (i.e. F&Ls standards ou non-standards, en fonction de ce qu'il/elle avait précédemment choisi.e), et remplissait le même questionnaire post-expérimental.

Il existait cependant des différences minimales de protocoles entre les 3 groupes, celles-ci étaient à dues au type d'environnement et n'étaient pas de nature à influencer l'expérience :

- Pour G1 : Afin d'éviter que les F&Ls ne se détériorent, nous avons demandé aux participants de ne pas les manipuler. Chaque participant choisissait le nombre / type de F&Ls qu'il voulait dans sa "liste de course" et le communiquait à l'assistant ;
- Pour G2 : Les participants s'asseyaient sur une chaise, prenaient la manette dans les mains et suivaient les instructions à l'écran ;
- Pour G3 : L'assistant précisait que les participants pouvaient arrêter l'expérience à tout moment s'ils se sentaient nauséux ou s'ils le désiraient. Il les aidait éventuellement à mettre en place le matériel (e.g. en les aidant à placer l'HMD puis à prendre le contrôleur en main).

Pour le G2 et G3 en particulier, le protocole expérimental au sein de l'EV est identique à l'étude précédente. D'une manière similaire, le magasin virtuel dans les 2 conditions (non-immersive et immersive) est le même que celui utilisé dans l'étude précédente et les F&Ls standards et non-standards sont respectivement ceux de la condition 0 et 2 et sont les mêmes dans les 2 environnements virtuels.

**Comportement consommateur** Pour chaque groupe, nous enregistrons (1) le nombre total de F&Ls (standards et non-standards) achetés par type (i.e. fruits ou légumes).

Dans le questionnaire post-experimental, nous leur demandons également de noter

leurs comportements à venir vis à vis des F&Ls proposés dans l'environnement :

FB1 Je pourrais envisager d'acheter à nouveau les fruits et légumes proposés par ce magasin (de Zeithaml et al. [205]) ;

FB2 Je pourrais recommander à mes amis ou à mes proches d'acheter les fruits et légumes proposés par ce magasin (de Zeithaml et al. [205]).

**Perception des Fruits et Légumes** Dans le questionnaire post-expérimental, les participants devaient répondre à des questions sur leur perception des F&Ls (sur une échelle de Likert à 6 points). Ces questions sont les mêmes que celles des Tab. 4.7, et de la même manière que dans l'étude précédente, nous les avons regroupées en 3 catégories : l'impression (I), la qualité (Q) et le prix (P).

| ID | Question   |
|----|--|
| I1 | La couleur de ces fruits (ou légumes) me donne l'image de produits de qualité                  |
| I2 | Le calibre/la taille de ces fruits (ou légumes) me donne l'image de produits de qualité        |
| I3 | La forme de ces fruits (ou légumes) me donne l'image de produits de qualité                    |
| I4 | La texture apparente de ces fruits (ou légumes) me donne l'image de produits de qualité        |
| I5 | La fraîcheur que je perçois de ces fruits (ou légumes) me donne l'image de produits de qualité |
| I6 | L'apparence extérieure de ces fruits (ou légumes) me donne l'image de produits de qualité      |
| Q1 | Je serai satisfait par leur qualité organoleptique (ou gustative)                              |
| Q2 | Je serai satisfait par leur qualité nutritionnelle   |
| Q3 | Je serai satisfait par leur qualité sanitaire (absence de risque pour la santé)                |
| Q4 | Je serai satisfait par leur facilité de préparation  |
| Q5 | Je serai satisfait en pensant aux effets de leur production sur l'environnement                |
| Q6 | Je serai satisfait de leur qualité globale   |
| P1 | Les prix de ces fruits (ou légumes) sont justes  |
| P2 | Les prix de ces fruits (ou légumes) sont appropriés  |

TABLE 4.7 – Le questionnaire d'impression (I), de qualité (Q) et de prix (P) sur la perception des F&Ls.

**Interaction et Présence** D'une manière similaire à l'étude précédente, les participants **des groupe G2 et G3 uniquement** devaient ensuite répondre à des questions sur les mécanismes d'interactions et leur présence / immersion. Ces dernières ont été groupées en 2 catégorie : l'interaction (Int) et la présence (Pr), cf. Tab. 4.8. À la différence de l'étude précédente cependant, 1 question sur l'interaction a été enlevée (Int3) et 3 questions sur la présence (Pr5, Pr6 et Pr7) ont été ajoutées, afin de vérifier à quel degré les différences de confort entre environnements virtuels apparaissaient et si elles avaient une incidence.

À l'aide de ces questionnaires d'interaction et de présence, nous observons si les participants rapportaient un degré de facilité d'interaction et un niveau de présence comparables.

| ID   | Question   |
|------|--|
| Int1 | Mes interactions avec les produits proposés dans ce magasin virtuel m'ont semblé naturelles  |
| Int2 | Mes déplacements dans ce magasin virtuel m'ont semblé naturels   |
| Int3 | J'étais capable d'explorer activement ce magasin virtuel de façon visuelle   |
| Int4 | La sensation de déplacement à l'intérieur de ce magasin virtuel m'a semblé réaliste  |
| Int5 | J'étais capable d'examiner les produits proposés dans ce magasin virtuel   |
| Int6 | Dans ce magasin virtuel, je pouvais examiner les objets sous tous les angles sans difficulté                                       |
| Int7 | J'étais capable de me déplacer sans difficulté dans ce magasin virtuel ainsi que d'interagir avec les produits proposés            |
| Pr1  | J'ai eu l'impression que ce magasin virtuel m'entourait réellement   |
| Pr2  | J'ai eu l'impression d'être aussi présent(e) ds ce magasin virtuel que je le suis dans un vrai magasin (magasin réel)              |
| Pr3  | Quand j'étais dans ce magasin virtuel, je n'étais plus conscient(e) de mon environnement réel                                      |
| Pr4  | J'ai été complètement captivé(e) par ce magasin virtuel  |
| Pr5  | Dans ce magasin virtuel, j'avais plus l'impression de regarder une vidéo/des images que d'être dans un vrai magasin (magasin réel) |
| Pr6  | Je me suis sentie(e) totalement immergé(e) dans ce magasin virtuel   |
| Pr7  | L'expérience vécue ds ce magasin virtuel a été proche de l'expérience que je peux vivre dans un vrai magasin (magasin réel)        |

TABLE 4.8 – Le questionnaire d'interaction (Int) et de présence (Pr) des participants

Tous les participants (i.e. **groupes G1, G2 et G3**) répondaient au questionnaire de vérification de la manipulation (6 questions écrites pour l'occasion) afin de vérifier, après analyse, qu'ils avaient perçu le changement de modalité (e.g. passer des F&Ls standards à ceux non-standards) cf. Tab. 4.9 :

| ID  | Question   |
|-----|--|
| MC1 | Les F&Ls proposés étaient plutôt normaux   |
| MC2 | Les F&Ls proposés étaient de couleurs tout à fait normales   |
| MC3 | Les F&Ls proposés étaient de calibres/tailles tout à fait normaux (pas trop petits ou pas trop gros) |
| MC4 | Les F&Ls proposés étaient de formes tout à fait normales (pas tordus ou difformes)                   |
| MC5 | Les F&Ls proposés étaient de textures tout à fait normales (pas abîmés ou pas ridés)                 |
| MC6 | Les F&Ls proposés étaient d'apparences extérieures tout à fait normales (produits pas tachés)        |

TABLE 4.9 – Le questionnaire de vérification de la manipulation (*Manipulation Check* en anglais)

Une fois les 2 modalités terminées, les participants **des groupe G2 et G3 uniquement** devaient répondre au questionnaire de Confort (3 questions ad-hoc, cf. Tab. 4.10).

| ID | Question  |
|----|---|
| C1 | Ce matériel a permis, sur un plan visuel, d'y naviguer de façon confortable                               |
| C2 | A force de me déplacer dans le magasin virtuel, j'ai ressenti un peu de fatigue visuelle                  |
| C3 | Quand je me déplaçais dans ce magasin, j'ai eu quelques maux de tête et/ou je me suis senti(e) un peu mal |

TABLE 4.10 – Le questionnaire confort

Une fois ce questionnaire complété, le participant pouvait s'en aller, l'expérience étant terminée.

### 4.3.3 Résultats

Dans cette section, nous nous focalisons sur :

- La vérification de la consistance interne de nos questionnaire, de la manipulation et de l'effet d'ordre de notre plan d'expérience ;
- La perception des F&Ls (impression, qualité et prix) des participants ;
- Le comportement d'achats des F&Ls des participants ;
- L'immersion (interaction et présence) et le confort dans l'EV.

#### 4.3.3.1 Consistance interne, vérification de la manipulation et effet d'ordre

**La consistance interne** Nous avons calculé les coefficients de l'alpha de Cronbach pour valider la consistance interne de chacune de nos catégories de questionnaires (e.g. Interaction, Présence, etc.) en fonction des environnements (i.e. laboratoire, virtuel non-immersif et virtuel immersif) et du type de F&Ls (i.e. standards ; non-standards). Les coefficients de l'alpha de Cronbach sont pour toutes les catégories  $> 0.7$  et valident la consistance interne de nos groupements (cf. Tab. 4.11).

TABLE 4.11 – Les coefficients de l'alpha de Cronbach pour l'ensemble des catégories de questionnaire.

| Catégories  | F&Ls    stan-<br>dards    /    non-<br>standard | Laboratoire<br>(n=67) | Virtuel    non-<br>immersif<br>(n=68) | Virtuel immer-<br>sif (n=61) |
|-------------|---|-----------------------|---------------------------------------|------------------------------|
| Impression  | Standard  | 0.906                 | 0.900                                 | 0.945                        |
|             | Non-standard                                    | 0.910                 | 0.888                                 | 0.856                        |
| Qualité     | Standard  | 0.906                 | 0.900                                 | 0.945                        |
|             | Non-standard                                    | 0.910                 | 0.888                                 | 0.856                        |
| Prix        | Standard  | 0.818                 | 0.913                                 | 0.909                        |
|             | Non-standard                                    | 0.834                 | 0.894                                 | 0.779                        |
| Comp. futur | Standard  | 0.767                 | 0.724                                 | 0.868                        |
|             | Non-standard                                    | 0.855                 | 0.803                                 | 0.857                        |
| Interaction |   | NA                    | 0.819                                 | 0.842                        |
| Présence    |   | NA                    | 0.886                                 | 0.855                        |

**La vérification de la manipulation** Nos participants ont perçu qu'il y avait eu une manipulation entre les 2 modalités lors de l'expérience. Dans les 3 environnements étudiés (laboratoire, virtuel non-immersif et virtuel immersif), ils ont rapporté que les F&Ls standards étaient plus normaux (MC1) que ceux non-standards. Ceci était également rap-

porté pour la taille (MC3), forme (MC4), textures (MC5) et l'apparence externe (MC6), cf. Tab. 4.12. Les participants ont donc perçu une différence de texture (MC5) pour le magasin virtuel non-immersif et celui immersif. Ce résultat n'était pas attendu, car la texture des F&Ls virtuels était identique.

Les participants n'ont par contre pas perçu de différence de couleur (MC2) ni pour le magasin virtuel non-immersif, ni pour le magasin immersif; ce résultat était attendu puisque les F&Ls étaient les mêmes.

TABLE 4.12 – La vérification de la manipulation.

| Magasin laboratoire (n=67)          |                |       |                   |       |        |              |
|-------------------------------------|----------------|-------|-------------------|-------|--------|--------------|
|                                     | F&Ls standards |       | F&Ls non-standard |       | t-test |              |
| Items                               | M              | SD    | M                 | SD    | t      | p            |
| MC1                                 | 4.52           | 1.375 | 3.45              | 1.407 | 4.236  | 0.000        |
| MC2                                 | 4.52           | 1.341 | 3.94              | 1.424 | 2.596  | 0.012        |
| MC3                                 | 4.34           | 1.462 | 2.84              | 1.563 | 5.415  | 0.000        |
| MC4                                 | 4.84           | 1.286 | 2.88              | 1.572 | 7.327  | 0.000        |
| MC5                                 | 4.67           | 1.386 | 3.22              | 1.475 | 5.344  | 0.000        |
| MC6                                 | 4.75           | 1.374 | 3.18              | 1.566 | 5.716  | 0.000        |
| Magasin virtuel non-immersif (n=68) |                |       |                   |       |        |              |
|                                     | F&Ls standards |       | F&Ls non-standard |       | t-test |              |
| Items                               | M              | SD    | M                 | SD    | t      | p            |
| MC1                                 | 4.16           | 1.356 | 3.51              | 1.491 | 2.690  | 0.009        |
| MC2                                 | 4.10           | 1.437 | 4.28              | 1.244 | -1.014 | <b>0.314</b> |
| MC3                                 | 4.10           | 1.478 | 3.32              | 1.408 | 2.897  | 0.005        |
| MC4                                 | 4.38           | 1.476 | 2.96              | 1.510 | 5.070  | 0.000        |
| MC5                                 | 4.37           | 1.424 | 3.68              | 1.408 | 3.171  | 0.002        |
| MC6                                 | 4.49           | 1.409 | 3.63              | 1.413 | 3.825  | 0.000        |
| Magasin virtuel immersif (n=61)     |                |       |                   |       |        |              |
|                                     | F&Ls standards |       | F&Ls non-standard |       | t-test |              |
| Items                               | M              | SD    | M                 | SD    | t      | p            |
| MC1                                 | 4.05           | 1.607 | 3.51              | 1.479 | 2.099  | 0.040        |
| MC2                                 | 3.77           | 1.627 | 3.82              | 1.466 | -0.239 | <b>0.812</b> |
| MC3                                 | 3.89           | 1.572 | 3.03              | 1.516 | 3.200  | 0.002        |
| MC4                                 | 4.28           | 1.529 | 3.08              | 1.509 | 4.012  | 0.000        |
| MC5                                 | 4.23           | 1.510 | 3.74              | 1.436 | 2.388  | 0.020        |
| MC6                                 | 4.46           | 1.523 | 3.59              | 1.453 | 3.951  | 0.000        |

**L'effet d'ordre** Pour contrôler l'effet d'ordre, chaque sous groupe (G1, G2 et G3) était divisé en 2 "sous-groupe" de taille presque égale : l'un suivait l'expérience avec les F&Ls standards **puis** avec les F&Ls non-standards (S → NS), l'autre suivait l'expérience avec des F&Ls non-standards **puis** avec des F&Ls standards (NS → S).

Les ANOVAs non pas montré de différences à l'exception de :

- Pour les catégories Impression et Qualité vis à vis de la perception des F&Ls non-standards dans le magasin virtuel immersif. L'évaluation des F&Ls non-standards faite par le groupe  $NS \rightarrow S$  était significativement plus faible que celle faite par le groupe  $S \rightarrow NS$  (pour la catégorie Impression :  $NS \rightarrow SM = 21.25, SD = 6.027$ ; et  $S \rightarrow NS 24.76; SD = 6.690$  et pour la catégorie Qualité :  $NS \rightarrow SM = 22.75, SD = 4.399$ ; et  $M = 26.34, SD = 6.114$ );
- Le comportement des consommateurs (i.e. le nombre de F&Ls achetés) dans le magasin laboratoire. Les participants "S  $\rightarrow$  NS" ont acheté significativement plus de fruits ( $S \rightarrow NSM = 7.70, SD = 2.899$ ; et  $NS \rightarrow M = 5.15, SD = 61.743$ ) et de légumes ( $S \rightarrow NSM = 8.79, SD = 3.389$ ; et  $NS \rightarrow SM = 6.47, SD = 2.351$ ) non-standards que les "NS  $\rightarrow$  S".

TABLE 4.13 – L'effet d'ordre

|                              | S $\rightarrow$ NS | NS $\rightarrow$ S | Total |
|------------------------------|--------------------|--------------------|-------|
| Magasin Laboratoire          | 33                 | 34                 | 67    |
| Magasin virtuel non-immersif | 31                 | 37                 | 68    |
| Magasin virtuel immersif     | 29                 | 32                 | 61    |
| Total                        | 93                 | 103                | 196   |

#### 4.3.4 Perceptions, comportements et immersion des participants

Dans cette section, nous présentons, pour les F&Ls standards et non-standards dans les 3 environnements, les résultats (1) de la perception, càd impression, qualité et prix; (2) du comportement actuel et futur; (3) de l'immersion (interaction, présence et confort).

Nous réalisons pour chacun de ces résultats une analyses de variance (ANOVA en utilisant la correction de Bonferroni [56]) pour montrer s'il existe une différence significative entre les 3 environnements. S'il en existe une, alors nous réalisons un t-test bidirectionnel

TABLE 4.14 – Résultat de l'effet d'ordre

| Catégories                      | F&Ls         | Magasin laboratoire (n=67) |        | Magasin virtuel non-immersif (n=68) |       | Magasin virtuel immersif (n=61) |              |       |
|---------------------------------|--------------|----------------------------|--------|-------------------------------------|-------|---------------------------------|--------------|-------|
|                                 |              | ANOVA (1,65)               |        | ANOVA (1,66)                        |       | ANOVA (1,59)                    |              |       |
|                                 |              | F                          | p      | F                                   | p     | F                               | p            |       |
| Impression                      | Standard     | 1.787                      | 0.186  | 1.025                               | 0.315 | 1.447                           | 0.234        |       |
|                                 | Non-Standard | 1.818                      | 0.182  | 0.185                               | 0.669 | 4.644                           | <b>0.035</b> |       |
| Qualité                         | Standard     | 1.601                      | 0.210  | 1.403                               | 0.241 | 0.030                           | 0.863        |       |
|                                 | Non-Standard | 1.794                      | 0.185  | 1.805                               | 0.184 | 7.045                           | <b>0.010</b> |       |
| Prix                            | Standard     | 0.115                      | 0.735  | 0.008                               | 0.930 | 0.934                           | 0.338        |       |
|                                 | Non-Standard | 1.725                      | 0.194  | 2.616                               | 0.111 | 0.196                           | 0.659        |       |
| Comportement<br>(nombre acheté) | Fruits       | Standard                   | 1.918  | 0.171                               | 1.196 | 0.278                           | 0.333        | 0.566 |
|                                 |              | Non-Standard               | 19.168 | 0.000                               | 0.000 | 0.985                           | 0.701        | 0.406 |
|                                 | Légumes      | Standard                   | 3.753  | 0.057                               | 0.297 | 0.587                           | 1.139        | 0.290 |
|                                 |              | Non-Standard               | 10.628 | <b>0.002</b>                        | 0.001 | 0.982                           | 3.121        | 0.082 |
| Comportement futur              | Standard     | 1.757                      | 0.190  | 0.488                               | 0.487 | 0.066                           | 0.798        |       |
|                                 | Non-Standard | 3.145                      | 0.081  | 0.108                               | 0.743 | 0.133                           | 0.716        |       |



TABLE 4.15 – Moyenne (M), écart-type ( $\sigma$ ) et ANOVAs pour la perception des participant vis à vis de l'Impression des F&Ls standards

|       | Magasin laboratoire (n=67) |          | Magasin virtuel non-immersif (n=68) |          | Magasin virtuel immersif (n=61) |          | ANOVA |              |
|-------|----------------------------|----------|-------------------------------------|----------|---------------------------------|----------|-------|--------------|
| Items | M                          | $\sigma$ | M                                   | $\sigma$ | M                               | $\sigma$ | F     | p            |
| I1    | 4.42                       | 1.372    | 4.29                                | 1.328    | 3.98                            | 1.727    | 1.450 | 0.237        |
| I2    | 4.10                       | 1.539    | 4.25                                | 1.320    | 3.87                            | 1.500    | 1.117 | 0.329        |
| I3    | 4.27                       | 1.431    | 4.26                                | 1.452    | 3.82                            | 1.668    | 1.827 | 0.164        |
| I4    | 4.25                       | 1.439    | 3.99                                | 1.419    | 3.82                            | 1.522    | 1.453 | 0.236        |
| I5    | 4.30                       | 1.371    | 3.99                                | 1.321    | 3.75                            | 1.629    | 2.312 | 0.102        |
| I6    | 4.39                       | 1.337    | 4.00                                | 1.446    | 3.75                            | 1.609    | 3.073 | <b>0.049</b> |

TABLE 4.16 – Moyenne (M), écart-type ( $\sigma$ ) et ANOVAs pour la perception des participant vis à vis de l'Impression des F&Ls non-standards

|       | Magasin laboratoire (n=67) |          | Magasin virtuel non-immersif (n=68) |          | Magasin virtuel immersif (n=61) |          | ANOVA |       |
|-------|----------------------------|----------|-------------------------------------|----------|---------------------------------|----------|-------|-------|
| Items | M                          | $\sigma$ | M                                   | $\sigma$ | M                               | $\sigma$ | F     | p     |
| I1    | 3.99                       | 1.430    | 4.12                                | 1.377    | 3.84                            | 1.440    | 0.637 | 0.530 |
| I2    | 3.48                       | 1.691    | 3.71                                | 1.372    | 3.84                            | 1.440    | 0.934 | 0.395 |
| I3    | 3.70                       | 1.642    | 3.56                                | 1.539    | 3.90                            | 1.524    | 0.769 | 0.465 |
| I4    | 3.79                       | 1.388    | 3.72                                | 1.444    | 3.87                            | 1.335    | 0.183 | 0.833 |
| I5    | 3.72                       | 1.622    | 3.82                                | 1.435    | 3.66                            | 1.471    | 0.205 | 0.814 |
| I6    | 3.58                       | 1.568    | 3.68                                | 1.481    | 3.82                            | 1.360    | 0.418 | 0.659 |

(avec, en plus, un test de Levene pour vérifier l'égalité des variances).

### 4.3.5 Impression

Les ANOVAs n'ont pas montré de différences significatives entre les 3 environnements pour les F&Ls standards et non-standards, à l'exception de l'apparence des F&Ls standards (cf. Tab. 4.15 et 4.16). Pour confirmer ce résultat, nous avons réalisé un test de Levene pour vérifier l'égalité des variances suivi par un test 2 à 2 de Student pour comparer les moyennes.

Comme les t-tests bidirectionnels ont accepté l'hypothèse de variances égales, la différence significative suivante a pu être mise en évidence : l'apparence externe des F&Ls standards est perçue comme meilleure dans le magasin laboratoire que dans le magasin immersif ( $t = 2.412$ ;  $p = 0.017$ ;  $df = 126$ ).

### 4.3.6 Qualité

Les ANOVAs n'ont pas montré de différences significatives entre les 3 environnements pour les F&Ls standards et non-standards, à l'exception de la qualité sanitaire des F&Ls non-standards (cf. Tab. 4.17 et 4.18). Pour confirmer ce résultat, nous avons réalisé un test de Levene pour vérifier l'égalité des variances suivi par un t-test bidirectionnel pour comparer les moyennes.

TABLE 4.17 – Moyenne (M), écart-type ( $\sigma$ ) et ANOVAs pour la perception des participant vis à vis de la Qualité des F&Ls standards

|       | Magasin laboratoire (n=67) |          | Magasin virtuel non-immersif (n=68) |          | Magasin virtuel immersif (n=61) |          | ANOVA |              |
|-------|----------------------------|----------|-------------------------------------|----------|---------------------------------|----------|-------|--------------|
| Items | M                          | $\sigma$ | M                                   | $\sigma$ | M                               | $\sigma$ | F     | p            |
| Q1    | 3.82                       | 1.348    | 3.71                                | 1.446    | 3.75                            | 1.410    | 0.114 | 0.892        |
| Q2    | 4.09                       | 1.357    | 3.84                                | 1.431    | 3.80                            | 1.339    | 0.844 | 0.432        |
| Q3    | 4.06                       | 1.506    | 3.63                                | 1.455    | 3.98                            | 1.500    | 1.578 | 0.209        |
| Q4    | 4.76                       | 1.220    | 4.46                                | 1.286    | 4.23                            | 1.476    | 2.597 | <b>0.077</b> |
| Q5    | 2.79                       | 1.213    | 2.71                                | 1.198    | 2.95                            | 1.359    | 0.625 | 0.536        |
| Q6    | 3.91                       | 1.083    | 3.87                                | 1.245    | 3.82                            | 1.372    | 0.086 | 0.917        |

TABLE 4.18 – Moyenne (M), écart-type ( $\sigma$ ) et ANOVAs pour la perception des participant vis à vis de la Qualité des F&Ls non-standards

|       | Magasin laboratoire (n=67) |          | Magasin virtuel non-immersif (n=68) |          | Magasin virtuel immersif (n=61) |          | ANOVA |              |
|-------|----------------------------|----------|-------------------------------------|----------|---------------------------------|----------|-------|--------------|
| Items | M                          | $\sigma$ | M                                   | $\sigma$ | M                               | $\sigma$ | F     | p            |
| Q1    | 4.13                       | 1.336    | 4.31                                | 1.307    | 3.92                            | 1.475    | 1.307 | 0.273        |
| Q2    | 4.54                       | 1.210    | 4.31                                | 1.213    | 4.23                            | 1.230    | 1.121 | 0.328        |
| Q3    | 4.13                       | 1.391    | 3.71                                | 1.394    | 4.38                            | 1.280    | 4.071 | <b>0.019</b> |
| Q4    | 4.04                       | 1.386    | 4.06                                | 1.292    | 3.98                            | 1.323    | 0.057 | 0.945        |
| Q5    | 4.31                       | 1.339    | 3.69                                | 1.605    | 3.84                            | 1.675    | 2.983 | 0.053        |
| Q6    | 4.00                       | 1.181    | 4.18                                | 1.269    | 4.11                            | 1.266    | 0.352 | 0.704        |

Comme les t-tests bidirectionnels ont accepté l'hypothèse de variances égales, la différence significative suivante a pu être mise en évidence : la qualité sanitaire des F&Ls non-standards est perçue comme meilleure dans le magasin immersif que dans le magasin laboratoire ( $t = -2.838$ ;  $p = 0.005$ ;  $df = 127$ ).

### 4.3.7 Prix

Les ANOVAs n'ont pas montré de différences significatives sur les 3 environnements pour les F&Ls standards et non-standards vis à vis du prix (cf. Tab. 4.19 et 4.20).

### 4.3.8 Comportement des participants

Les ANOVAs ont montré des différences significatives entre les 3 environnements pour les F&Ls standards et non-standards (cf. Tab. 4.21 et 4.22). Pour confirmer ce résultat, nous avons réalisé un test de Levene pour vérifier l'égalité des variances suivi par un t-test bidirectionnel pour comparer les moyennes.

Comme les t-tests bidirectionnels ont accepté l'hypothèse de variances égales, les dif-

TABLE 4.19 – Moyenne (M), écart-type ( $\sigma$ ) et ANOVAs pour la perception des participant vis à vis du Prix des F&Ls standards

|       | Magasin laboratoire (n=67) |          | Magasin virtuel non-immersif (n=68) |          | Magasin virtuel immersif (n=61) |          | ANOVA |       |
|-------|----------------------------|----------|-------------------------------------|----------|---------------------------------|----------|-------|-------|
| Items | M                          | $\sigma$ | M                                   | $\sigma$ | M                               | $\sigma$ | F     | p     |
| P1    | 4.00                       | 1.142    | 4.15                                | 1.284    | 3.80                            | 1.166    | 1.322 | 0.269 |
| P2    | 4.15                       | 1.132    | 4.15                                | 1.237    | 3.87                            | 1.190    | 1.163 | 0.315 |

TABLE 4.20 – Moyenne (M), écart-type ( $\sigma$ ) et ANOVAs pour la perception des participant vis à vis du Prix des F&Ls non-standards

|       | Magasin laboratoire (n=67) |          | Magasin virtuel non-immersif (n=68) |          | Magasin virtuel immersif (n=61) |          | ANOVA |       |
|-------|----------------------------|----------|-------------------------------------|----------|---------------------------------|----------|-------|-------|
| Items | M                          | $\sigma$ | M                                   | $\sigma$ | M                               | $\sigma$ | F     | p     |
| P1    | 3.87                       | 1.217    | 4.15                                | 1.307    | 3.80                            | 1.123    | 1.482 | 0.230 |
| P2    | 3.87                       | 1.179    | 4.26                                | 1.217    | 3.93                            | 1.167    | 2.161 | 0.118 |

férences significatives suivantes ont pu être mis en évidence pour les F&Ls standards :

- Les participants achètent plus de fruits dans le magasin virtuel non-immersif que dans le magasin laboratoire ( $t = -2.833; p = 0.005; df = 133$ );
- Les participants achètent plus de légumes dans le magasin virtuel non-immersif que dans le magasin laboratoire ( $t = -2.904; p = 0.005; df = 133$ );
- Les participants achètent plus de fruits dans le magasin virtuel immersif que dans le magasin laboratoire ( $t = -3.005; p = 0.003; df = 126$ );
- Les participants achètent plus de légumes dans le magasin virtuel immersif que dans le magasin laboratoire ( $t = -2.531; p = 0.013; df = 126$ ).

Ainsi que les suivantes, pour les F&Ls non-standards :

- Les participants achètent plus de fruits dans le magasin virtuel non-immersif que dans le magasin laboratoire ( $t = -4.009; p = 0.000; df = 133$ );
- Les participants achètent plus de légumes dans le magasin virtuel non-immersif que dans le magasin laboratoire ( $t = -2.861; p = 0.005; df = 133$ );
- Les participants achètent plus de fruits dans le magasin virtuel immersif que dans le magasin laboratoire ( $t = -4.435; p = 0.000; df = 126$ );
- Les participants achètent plus de légumes dans le magasin virtuel immersif que dans le magasin laboratoire ( $t = -2.851; p = 0.095; df = 126$ ).

TABLE 4.21 – Moyenne (M), écart-type ( $\sigma$ ) et ANOVAs pour le comportement des consommateurs vis à vis des F&Ls standards

|                           | Magasin laboratoire (n=67) |          | Magasin virtuel non-immersif (n=68) |          | Magasin virtuel immersif (n=61) |          | ANOVA |              |
|---------------------------|----------------------------|----------|-------------------------------------|----------|---------------------------------|----------|-------|--------------|
| Items                     | M                          | $\sigma$ | M                                   | $\sigma$ | M                               | $\sigma$ | F     | p            |
| Nombre de fruits achetés  | 7.06                       | 2.599    | 8.60                                | 3.637    | 8.64                            | 3.332    | 5.188 | <b>0.006</b> |
| Nombre de légumes achetés | 8.27                       | 3.107    | 11.13                               | 7.505    | 10.15                           | 4.983    | 4.657 | <b>0.011</b> |

TABLE 4.22 – Moyenne (M), écart-type ( $\sigma$ ) et ANOVAs pour le comportement des consommateurs vis à vis des F&Ls non-standards

|                           | Magasin laboratoire (n=67) |          | Magasin virtuel non-immersif (n=68) |          | Magasin virtuel immersif (n=61) |          | ANOVA  |              |
|---------------------------|----------------------------|----------|-------------------------------------|----------|---------------------------------|----------|--------|--------------|
| Items                     | M                          | $\sigma$ | M                                   | $\sigma$ | M                               | $\sigma$ | F      | p            |
| Nombre de fruits achetés  | 6.40                       | 2.692    | 9.04                                | 4.708    | 9.26                            | 4.461    | 10.199 | <b>0.000</b> |
| Nombre de légumes achetés | 7.61                       | 3.114    | 9.47                                | 4.328    | 9.67                            | 4.798    | 4.997  | <b>0.008</b> |

TABLE 4.23 – Moyenne (M), écart-type ( $\sigma$ ) et ANOVAs pour le comportement futur des consommateurs vis à vis des F&Ls standards

|       | Magasin laboratoire (n=67) |          | Magasin virtuel non-immersif (n=68) |          | Magasin virtuel immersif (n=61) |          | ANOVA |              |
|-------|----------------------------|----------|-------------------------------------|----------|---------------------------------|----------|-------|--------------|
| Items | M                          | $\sigma$ | M                                   | $\sigma$ | M                               | $\sigma$ | F     | p            |
| FB1   | 4.52                       | 1.172    | 3.94                                | 1.326    | 3.69                            | 1.587    | 6.361 | <b>0.002</b> |
| FB2   | 3.58                       | 1.568    | 3.22                                | 1.423    | 3.34                            | 1.526    | 1.001 | 0.360        |

TABLE 4.24 – Moyenne (M), écart-type ( $\sigma$ ) et ANOVAs pour le comportement futur des consommateurs vis à vis des F&Ls non-standards

|       | Magasin laboratoire (n=67) |          | Magasin virtuel non-immersif (n=68) |          | Magasin virtuel immersif (n=61) |          | ANOVA |       |
|-------|----------------------------|----------|-------------------------------------|----------|---------------------------------|----------|-------|-------|
| Items | M                          | $\sigma$ | M                                   | $\sigma$ | M                               | $\sigma$ | F     | p     |
| FB1   | 4.09                       | 1.474    | 3.96                                | 1.177    | 3.85                            | 1.388    | 0.497 | 0.609 |
| FB2   | 3.42                       | 1.558    | 3.49                                | 1.481    | 3.33                            | 1.423    | 0.180 | 0.836 |

### 4.3.9 Le comportement futur des participants

Les ANOVAs ont montré des différences significatives entre les 3 environnements pour les F&Ls standards (cf. Tab. 4.23 et 4.24). Pour confirmer ce résultat, nous avons réalisé un test de Levene pour vérifier l'égalité des variances suivi par un test 2 à 2 de Student pour comparer les moyennes.

Comme les tests bilatéraux ont accepté l'hypothèse de variances égales, les différences significatives suivantes ont pu être mis en évidence pour les F&Ls standards :

- Les participants ont plus d'intention d'achats futurs dans le magasin laboratoire que dans le magasin virtuel non-immersif ( $t = 2.697$ ;  $p = 0.008$ ;  $df = 133$ ) ;
- Les participants ont plus d'intentions d'achat futur dans le magasin laboratoire que dans le magasin virtuel immersif ( $t = 3.354$ ;  $p = 0.001$ ;  $df = 126$ ).

### 4.3.10 Interaction, Présence et Confort

#### 4.3.10.1 Interaction

Les ANOVAs n'ont pas montré des différences significatives entre les 2 environnements virtuels pour l'interaction (cf. Tab. 4.25). Les participants ont donc eu une expérience comparable en terme d'interaction dans le magasin virtuel non-immersif et dans le magasin immersif.

#### 4.3.10.2 Présence

Les ANOVAs ont montré des différences significatives entre les 2 environnements virtuels pour la présence (cf. Tab. 4.26). Les participants du magasin immersif étaient, com-

TABLE 4.25 – Moyenne (M), écart-type ( $\sigma$ ) et ANOVAs pour l'Interaction

|       | Magasin virtuel non-immersif (n=68) |          | Magasin virtuel immersif (n=61) |          | ANOVA |       |
|-------|-------------------------------------|----------|---------------------------------|----------|-------|-------|
| Items | M                                   | $\sigma$ | M                               | $\sigma$ | F     | p     |
| Int1  | 2.76                                | 1.556    | 2.79                            | 1.518    | 0.007 | 0.935 |
| Int2  | 3.01                                | 1.598    | 2.70                            | 1.308    | 1.432 | 0.234 |
| Int3  | 3.31                                | 1.623    | 3.79                            | 1.280    | 3.397 | 0.068 |
| Int4  | 2.99                                | 1.461    | 2.93                            | 1.365    | 0.041 | 0.839 |
| Int5  | 3.71                                | 1.526    | 3.72                            | 1.240    | 0.004 | 0.950 |
| Int6  | 3.75                                | 1.642    | 3.20                            | 1.611    | 3.716 | 0.056 |
| Int7  | 3.59                                | 1.557    | 3.23                            | 1.270    | 2.027 | 0.157 |

TABLE 4.26 – Moyenne (M), écart-type ( $\sigma$ ) et ANOVAs pour la Présence

|       | Magasin virtuel non-immersif (n=68) |          | Magasin virtuel immersif (n=61) |          | ANOVA  |              |
|-------|-------------------------------------|----------|---------------------------------|----------|--------|--------------|
| Items | M                                   | $\sigma$ | M                               | $\sigma$ | F      | p            |
| Pre1  | 2.46                                | 1.298    | 3.64                            | 1.517    | 22.793 | <b>0.000</b> |
| Pre2  | 2.75                                | 1.397    | 3.49                            | 1.468    | 8.643  | <b>0.004</b> |
| Pre3  | 2.01                                | 1.252    | 4.13                            | 1.455    | 78.867 | <b>0.000</b> |
| Pre4  | 2.84                                | 1.356    | 3.34                            | 1.413    | 4.303  | <b>0.040</b> |
| Pre5  | 2.69                                | 1.538    | 2.84                            | 1.440    | 0.303  | 0.583        |
| Pre6  | 2.54                                | 1.559    | 2.72                            | 1.655    | 0.392  | 0.532        |
| Pre7  | 2.41                                | 1.296    | 3.05                            | 1.431    | 7.051  | <b>0.009</b> |

parativement au magasin non-immersif, (1) plus présents, (2) plus entourés par l'environnement, (3) moins attentifs à l'environnement réel, (4) plus captivés et (5) plus proches de l'expérience qu'ils auraient pu connaître dans un magasin réel.

#### 4.3.10.3 Confort

Les ANOVAs ont montré des différences significatives entre les 2 environnements virtuels vis à vis du confort cf. Tab. 4.27). Les participants ont ressenti davantage de fatigue visuelle et de maux de tête dans le magasin virtuel immersif que dans le magasin non-immersif.

#### 4.3.11 Discussion

Dans cette étude utilisateur, nous avons comparé la différence de F&Ls en termes de perception, d'achats et d'intentions futures d'achats dans un magasin laboratoire, un

TABLE 4.27 – Moyenne (M), écart-type ( $\sigma$ ) et ANOVAs pour le Confort

|       | Magasin virtuel non-immersif (n=68) |          | Magasin virtuel immersif (n=61) |          | ANOVA  |              |
|-------|-------------------------------------|----------|---------------------------------|----------|--------|--------------|
| Items | M                                   | $\sigma$ | M                               | $\sigma$ | F      | p-value      |
| C1    | 3.68                                | 1.450    | 3.33                            | 1.313    | 2.031  | 0.157        |
| C2    | 2.53                                | 1.521    | 3.74                            | 1.692    | 18.247 | <b>0.000</b> |
| C3    | 1.87                                | 1.348    | 2.84                            | 1.827    | 11.888 | <b>0.001</b> |

magasin virtuel non-immersif et un magasin virtuel immersif. Nous avons demandé aux participants d’y acheter successivement des F&Ls standards puis non-standards (ou vice-versa pour éviter l’effet d’ordre).

#### 4.3.11.1 La vérification de la manipulation (ou manipulation check)

La vérification de manipulation montre que quel que soit l’environnement, les participants ont remarqué que les F&Ls standards et non-standards n’étaient pas les mêmes, y compris en termes de couleur (seulement pour le magasin laboratoire), de taille, de forme, de texture et d’apparence externe.

L’absence de différence en termes de couleur pour les magasins virtuels est due au fait que les F&Ls virtuels (standards et non-standards) partagent la même texture RGBA.

La présence de différences en termes de texture pour les magasins virtuels n’était par contre pas attendue. Nous proposons 2 explication pour expliquer cette différence : (1) les F&Ls non-standards partagent la même map UV que les F&Ls standards, il est donc possible que le mapping ait résulté en une texture RGBA partiellement déformée ; et (2) les différences de formes ont influencé la perception des utilisateurs quand à la texture des F&Ls.

#### 4.3.11.2 L’effet d’ordre

Nous avons relevé des différences dans l’effet d’ordre dans le magasin laboratoire (S → NS achètent davantage de F&Ls non-standards) et le magasin virtuel immersif (NS → S notent plus faiblement en impression et qualité les F&Ls non-standards).

L’effet d’ordre a été observé dans le magasin laboratoire. En effet les F&Ls non-standards étaient d’un calibre “non-standardisé” (trop petit), ce qui a pu inciter les participants qui venaient d’acheter un volume donné de F&Ls standards à choisir de nouveau un volume de F&Ls similaire.

L’effet d’ordre n’était par contre pas attendu *seulement* dans le magasin virtuel immersif. Il est probable que le visiocasque a permis aux participants de mieux voir les imperfections des F&Ls et comme la moitié de ces participants étaient d’abord confrontés à des F&Ls non-standards (qu’ils ont pu penser être la représentation standards des F&Ls, car il n’ont pas encore su faire de comparaison avec les F&Ls standards), cela a pu causer une

notation plus critique pour ce “sous-groupe”.

#### 4.3.11.3 La perception des Fruits et Légumes

L'apparence extérieure des F&Ls standards et la qualité sanitaire des F&Ls non-standards sont perçus comme différentes entre le magasin laboratoire et le magasin virtuel immersif. Il n'y a par contre pas de différence entre le magasin laboratoire et le magasin virtuel non-immersif. Nous ne savons pas expliquer la différence d'apparence extérieure relevée. Il est possible que l'utilisation du visiocasque ait influencée plus fortement les participants dans le magasin immersif, mais si tel était le cas alors la différence aurait dû être présente également pour les F&Ls non-standards).

Cette possibilité peut cependant être utilisée pour expliquer la différence de qualité sanitaire. En effet les F&Ls virtuels sont relativement lisses (nous n'avons pas utilisé de *height map*), ce qui est plus visible avec le visiocasque (où l'utilisateur peut s'approcher de l'objet 3D) qu'avec un écran 2D.

#### 4.3.11.4 Le comportement d'achat, la perception et le confort

Les différences de comportement d'achat (i.e. le nombre de produits achetés et les intentions d'achats futurs) sont différentes entre les magasins virtuels et le magasin laboratoire. Cette différence, relevée par d'autres travaux, était attendue. Il conviendra dans de futures études de prendre en compte ce biais.

Les différences de présence et de confort entre les environnements virtuels étaient également attendues. Il est normal, presque par définition, que l'environnement immersif ait une présence plus élevée qu'un environnement non-immersif; et il est également normal que porter un visiocasque entraîne une perte de confort. Cela nous rassure quand à la pertinence de comparer ces magasins virtuels.

#### 4.3.12 Conclusion

Nous avons comparé dans cette étude 3 différents types d'environnements lors de l'achat de fruits et légumes standards et non-standards (i.e. (i) un magasin laboratoire; (ii) un magasin virtuel non immersif et (iii) un magasin virtuel immersif). Nous avons montré qu'il y a peu de différences d'impression et de qualité entre les différents environ-

nements, quel que soit l'état des fruits et légumes (e.g. standards ou non-standards). Il y a de plus peu de différences significatives d'impression entre les magasins. Les différences d'impressions relevées sont présentes entre le magasin laboratoire et le magasin virtuel immersif sur (i) l'apparence extérieure et (ii) la qualité sanitaire. Il n'y a pas non plus de différence significative de perception de prix entre les magasins. Cependant, il existe des différences significatives de comportement des participants entre le magasin laboratoire et les magasins virtuels : les participants achètent moins de fruits et légumes (standards et non standards) dans la magasin laboratoire que dans ceux virtuels. Enfin, il existe des différences significatives d'intention d'achat futur des participants entre le magasin laboratoire et le magasin virtuel non-immersif : les participants ont plus d'intentions d'achats futurs dans la magasin laboratoire que dans le magasin virtuel non-immersif. Finalement, les magasins virtuels non-immersif et immersif n'ont pas de différence d'interaction mais une différence de présence (qui était attendue) ainsi qu'une différence de confort (qui était également attendue).

L'objectif de cette étude était de mettre en évidence les différences qui existent entre les différents environnements, afin de montrer si un environnement virtuel non-immersif est plus -ou moins- pertinent qu'un environnement virtuel immersif (ou à un niveau plus abstrait, si la RV est plus pertinente pour réaliser des études consommateurs qu'un simple environnement 3D). Au vu de nos résultats, les différences sont relativement faibles : le magasin virtuel immersif est moins pertinent que celui non-immersif lorsqu'on se focalise sur l'impression ; mais plus pertinent lorsqu'on se focalise sur les intentions d'achats futurs. Au-delà de ces différences, l'utilisation d'un magasin virtuel immersif ne semble ajouter qu'à la "présence" de l'environnement. L'utilisation de RV immersive dans des études consommateurs doit donc être justifiée par les variables observées (ici les intentions d'achats futurs) et ne doit pas être utilisée "par défaut" : en effet l'utilisation d'un système immersif et plus exigeante en ressources (temps de mise en place, temps d'entraînement, matériel etc.) et peut même se montrer moins pertinent sur certaines variables (ici l'impression).

Notre étude apporte des éléments de réponse sur les avantages et les inconvénients de la RV immersive par rapport à celle non-immersive. D'autres études sont cependant nécessaires pour savoir si ces résultats sont répliquables sur d'autres types de produits (tels que



par exemples les boutiques de luxe qui mettent en place des environnements très typés, dans lesquels la présence peut être importante.

# Chapitre 5 : Étude utilisateur, changement de perception de produits et de comportements d’achats de participants incarnés dans un corps obèse

## 5.1 Introduction

Dans la section 4.3, nous avons montré qu’il existe des différences de comportement consommateur dans un EV. Au cours de ce chapitre, nous explorons une raison possible de ces différences : **la représentation virtuelle de l’utilisateur**.

En RV (immersive ou non) l’utilisateur possède généralement une représentation virtuelle (i.e. un avatar homme/femme). Cependant, cette représentation est susceptible d’orienter le comportement de l’utilisateur. Ce phénomène est exploré par 2 concepts :

- L’*effet d’amorçage* (*Priming Effect* en anglais), càd la manière dont les influences environnementales influencent le comportement, l’émotion et les “connaissances” (e.g. le constructivisme social, etc.) [16], cf. Sec. 5.2. Ce concept n’est pas propre à la RV.;
- L’incarnation virtuelle, cf. Sec. 2.3.4. Ce concept est propre à la RV.

Nos études utilisateurs précédentes n’avaient pas de représentation de l’utilisateur car nous ne l’avions pas jugé nécessaire, mais d’autres environnement ou conditions expérimentales peuvent nécessiter de le faire. Il est donc important de connaître la portée des

changements de comportements consommateurs provoqués par la représentation virtuelle de l'utilisateur en RV immersive.

Cette problématique est en lien avec celle de notre thèse, qui cherche à vérifier s'il est possible de réaliser des études marketing en RV immersive avec des F&Ls standards et non-standards. Or ces études marketings peuvent nécessiter une représentation virtuelle de l'utilisateur, dont il est alors nécessaire de connaître et d'anticiper l'effet sur les résultats.

Cependant, l'état de l'art actuel sur l'effet de la représentation virtuelle de l'utilisateur sur son comportement d'achat en RV immersive est - à notre connaissance - inexistant. Avant d'étudier la portée de cette représentation sur l'achat de F&Ls il est important de savoir s'il existe *effectivement* une différence de comportement consommateur en RV immersive (e.g. quel effets, pour quelles représentations du corps). Nous avons donc fait le choix, avant de nous concentrer sur un magasin proposant *seulement* des F&Ls, d'observer cette différence dans un magasin proposant des F&Ls **et** d'autres produits alimentaires (i.e. nourriture et boisson).

Pour observer ces différences, il est nécessaire de sélectionner le type de corps le plus apte à les provoquer. Nous avons sélectionné le corps obèse, car il possède les avantages suivants :

**Il provoque une différence dans le comportement d'achat et dans la perception des produits alimentaires** Le Facteur Santé des Produits (FSP) (càd la prise en compte de l'effet qu'ont les produits sur la santé) est l'un des facteurs les plus important dans le comportement d'achat des consommateurs [159] (et ce en particulier pour les produits biologiques [17]). Les produits sains <sup>1</sup> (e.g. à faible teneur calorique) sont donc plus susceptibles d'être consommés que les produits "non-sains" (e.g. à haute teneur calorique).

Cependant, les personnes en surpoids ont tendance à acheter davantage d'aliments "non-sains" à haute teneur calorique que les personnes qui ne le sont pas [176]. Il y a plusieurs explications à ce phénomène, dont (i) le Status SocioEconomique (SSE) (e.g. le revenu, l'éducation, l'occupation, etc.) plus faible des personnes en surpoids [172], qui les poussent à acheter des aliments moins chers et donc moins sains [157] ; (ii) l'existence

---

1. Nous aurons l'occasion en Sec. 5.5.4, de détailler ce qu'est un produit "sain".

de stéréotypes qui les pousse à acheter des aliments moins sains pour se conformer aux stéréotypes des personnes obèses (c'est la *menace du stéréotype*, *Stereotype Threat* en anglais) [90, 122] (voir le détail de ces stéréotypes ci-dessous) ; et (iii) l'Indice de Masse Corporelle (IMC) influence la perception du FSP et l'estimation de la teneur calorique des produits [33].

**Il existe une perception universelle de l'obésité** Les stéréotypes associés aux personnes obèses (leur manière de se comporter, leurs caractéristiques, etc.) sont présents dans la plupart des pays développés [156], ce qui n'est pas forcément le cas d'autres stéréotypes liés à l'apparence. D'après ces stéréotypes, l'obésité est la représentation : (i) d'un faible contrôle de ses habitudes alimentaires ; (ii) de la paresse, d'un manque de motivation et d'incompétence [156].

**C'est un type de corps caractéristique et scientifiquement décrit** Un IMC normal est caractéristique d'un corps "sain et de poids normal". Des études ont même montré qu'une personne ayant un IMC normale (i.e.  $\in [18.5; 24.9]$ , d'après l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) [140]) est perçue comme saine [30]. Par contre, un IMC élevé (e.g. obèse) est caractéristique d'un corps "non sain et de poids anormal". Il ne faut pas oublier qu'au delà des stéréotypes, l'obésité est une maladie **caractéristique** et **définie** par l'OMS frappant les personnes ayant un  $IMC \geq 30$  [200, 199]<sup>2</sup>.

Le corps obèse est très susceptible de provoquer des changements de comportements d'achats et de perception des produits alimentaires chez les utilisateurs. Nous chercherons donc dans cette étude à : **étudier les changements de comportements d'achats et de perception des produits alimentaires chez les participants incarnés dans un corps virtuel obèse.**

Dans le reste de ce chapitre, nous présentons un état de l'art sur l'effet d'amorçage (un stimulus capable d'influencer le comportement, la perception ou l'émotion d'une personne) des avatars dans les magasins virtuels (ici le stimulus sera donc l'avatar), puis présentons notre protocole expérimental, notre EV (le magasin est différent de celui utilisé dans les études utilisateurs précédente) et nos résultats. Nous discutons finalement ces résultats.

---

2. Notons que l'IMC est calculé avec la formule :  $BMI = P/T^2$  ; avec  $P$  le poids (kg) et  $T$  la taille (cm)

## 5.2 L'effet d'amorçage des avatars dans les magasins virtuels

L'effet d'amorçage peut prendre en compte l'ensemble de l'environnement (e.g. son, couleur, etc.), mais si on se limite à un effet dépendant seulement de *l'avatar*, alors il est similaire à l'incarnation virtuelle. En effet, l'incarnation virtuelle et l'effet d'amorçage du seul à l'avatar sont tout deux dépendants : (i) d'une représentation virtuelle de l'utilisateur (ici, un avatar) ; et (ii) peuvent provoquer des changements de comportement, perception et émotion chez les utilisateurs.

Sous l'effet d'amorçage, l'avatar peut mettre en évidence chez les utilisateurs des “connaissances” liées à cet avatar, c'est-à-dire adapter les expériences, attributs physiques et le constructivisme social [149] de l'avatar :

- Peña et al. [148] ont montré que l'apparence de l'avatar peut provoquer une attitude agressive chez les participants (cf. Fig. 5.1a). En RV non-immersive, les participants devaient dialoguer entre eux. Ceux avec des avatars drapés de noir étaient plus agressifs que ceux avec des avatars drapés de blanc.
- Dans une autre étude, Peña et al. [149] ont montré que le rôle suggéré par l'apparence de l'avatar peut avoir un effet sur les “connaissances” des participants (cf. Fig. 5.1b). En RV non-immersive, les participants devaient écrire des histoires. Ceux avec un avatar de mannequin<sup>3</sup> ont écrit des histoires avec des noms exotiques, des marques, etc., et ceux avec un avatar de professeur ont écrit des histoires avec des livres, parlant de l'éducation, etc.

Des études marketing ont également été conduites en utilisant l'effet d'amorçage :

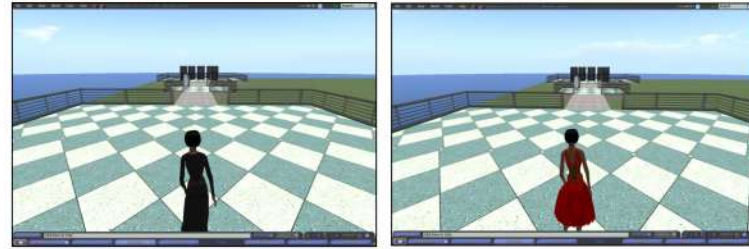
- Bailenson et Ahn [13] ont montré qu'interagir en RV immersive avec un produit tout en le promouvant (e.g. en portant une chemise promotionnelle du produit) provoquait davantage d'intention d'achat du produit.
- Yoo et al. [203] ont montré que l'âge de l'avatar influençait la vitesse de déplacement et le comportement d'achat. En RV non-immersive, les participants devaient se déplacer dans un magasin virtuel (cf. Fig. 5.2a) puis souscrire à un magazine

---

3. Dans l'article, les auteurs parlent de “top model”.



(a) À gauche les participants avec des avatars drapés en noirs, à droite ceux avec des avatars drapés en blancs (Peña et al. [148]).



(b) À gauche l'avatar avec une apparence de professeur, à droite celui avec une apparence de mannequin (Peña et al. [149]).

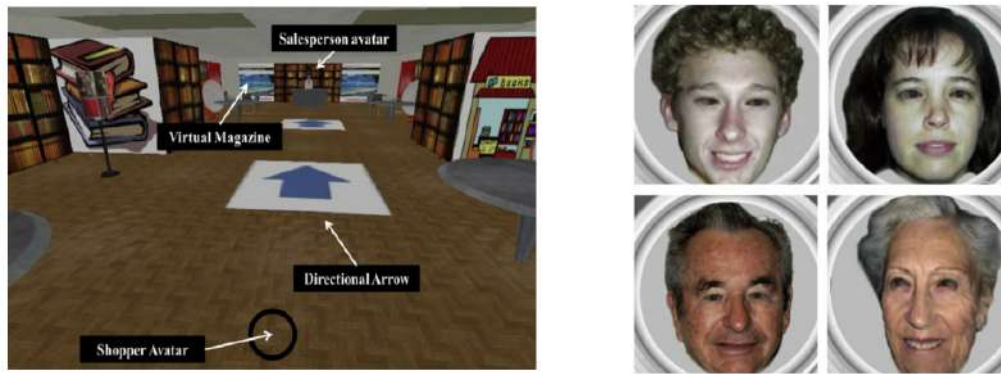
FIGURE 5.1 – Deux expériences mettant en avant l'effet d'amorçage sur l'attitude et les connaissances des participants.

pour seniors ou à un pour jeunes. Les participants avec un avatar âgé (60-70 ans, cf. Fig. 5.2b) se déplaçaient significativement plus lentement et souscrivaient davantage aux magazines pour seniors que les participants avec un avatar jeune (20-30 ans, cf. Fig. 5.2b).

### 5.3 Expérience

L'expérience s'est déroulée au sein du département d'ingénierie de l'Université de Keio au Japon du 17 au 26 Janvier 2017. Il y avait à l'origine 32 participants (29 hommes et 3 femmes), mais 3 d'entre eux ont dû être enlevés des résultats suite à des problèmes techniques. Il restait 29 participants : 27 hommes (age :  $M = 22.81, \sigma = 1.111$ ); et 2 femmes (age :  $M = 22.5, \sigma = 0.71$ ). Les participants étaient tous étudiants ; et sur les 29 : 2 (6.9%) n'avaient pas d'expérience avec la RV, 18 (62.0%) avaient un peu d'expérience avec la RV (utilisé entre 1 et 10 fois) et 9 (31.0%) utilisaient fréquemment de la RV. L'IMC des participants était normal en moyenne ( $M = 21.84, \sigma = 2.98, \min = 17.38, \max = 30.47$ ).

Nous avons utilisé un protocole expérimental inter-groupe (*Between-Subject* en An-



(a) Le magasin virtuel utilisé dans Yoo et al. [203]. Le visage de l'avatar s'affiche dans le cercle en bas de l'image.

(b) Les visages 3D utilisés dans Yoo et al. [203] pour visualiser l'avatar.

FIGURE 5.2 – Une expérience mettant en avant l'effet d'amorçage sur le comportement des participants dans un magasin virtuel.

glais), avec 2 groupes. La variable indépendante étudiée était le poids du corps virtuel (noté *Weight VB*). Les participants étaient placés aléatoirement dans le groupe contrôle (noté *Groupe N*) ou celui manipulé (noté *Groupe OB*) :

- Groupe N : 13 participants étaient incarnés dans un corps virtuel d'IMC  $\approx 23.5$  pour les hommes et  $\approx 19.5$  pour les femmes, donc de poids "normal"<sup>4</sup>. Il s'agit de notre groupe contrôle.
- Groupe OB : 16 participants étaient incarnés dans un corps virtuel de IMC  $\approx 53$  pour les hommes et  $\approx 50$  pour les femmes, donc obèse.

La différence d'IMC entre l'avatar homme et l'avatar femme d'un même groupe peut porter à confusion. Lors de la génération de notre modèle d'avatar, nous nous sommes avant tout focalisé sur l'aspect visuel de l'avatar, est avons donc avant tout cherché à reproduire des corps visuellement "normaux" et "obèse". Un avatar femme d'IMC 23.5 serait visuellement paru être en surpoids, tandis qu'un avatar homme d'IMC serait visuellement apparu comme étant trop maigre, nous n'avons donc pas cherché à corriger les différences entre les sexes pour qu'ils aient le même IMC.

## 5.4 Protocole expérimental

Les participants étaient invités 1 par 1 à rejoindre la salle d'expérience. Seul le participant et l'assistant étaient présents dans la pièce au moment de l'expérience. Tout d'abord

4. "Normal" fait référence à la catégorie normale de l'IMC définie par l'OMS, càd de poids sain.

le participant remplissait un questionnaire démographique puis signait un formulaire de consentement à participer à l'expérience. Il lisait ensuite le scénario expérimental (cf. Fig. 5.4) et, avec l'aide de l'assistant, enfilait la combinaison de capture de mouvement et le visiocasque (cf. Fig. 5.3).

Tout au long de l'expérience, le participant était supervisé par l'assistant. Ce dernier rappelait explicitement au participant qu'il pouvait arrêter l'expérience s'il souffrait de nausée.



FIGURE 5.3 – Un participant avec le visiocasque et la combinaison de capture de mouvement. Le tabouret (également suivi par notre système) est visible en bas à droite de l'image.

---

Vous avez récemment reçu une carte cadeau d'une valeur de 5.500¥ que vous pouvez dépenser dans l'un des magasins proches de chez vous. Vous décidez de l'utiliser aujourd'hui, et d'acheter des aliments pour votre déjeuner et dîner (vous mangerez seul aujourd'hui). Vous n'avez pas à dépenser l'ensemble des 5.500¥ et vous n'êtes pas obligé d'acheter quelque chose si l'offre ne vous plait pas.

---

FIGURE 5.4 – Le scénario expérimental, commun à chaque groupe. Il y avait largement assez d'argent pour acheter de la nourriture pour 2 repas ( $5.500¥ \approx 50€$ ).

Une fois dans l'EV, le participant devait suivre une session d'entraînement (composée de 2 niveaux, étapes I et II), avant d'accéder au magasin virtuel (étape III). Dans le magasin virtuel, il devait réaliser l'expérience et, une fois terminée, toujours dans l'EV,



compléter 3 questionnaires (étape IV). Enfin, le participant quittait l'EV, enlevait le visiocasque et la combinaison de capture de mouvement, et répondait à un questionnaire post-expérimental (étape V). Toutes les interactions dans l'EV (e.g. sélectionner un produit, l'ajouter / l'enlever du panier, répondre au questionnaire, etc.) étaient basées sur la direction de la tête du participant (cf. Sec. 5.5.3).

### 5.4.1 L'entraînement (étape I et II)

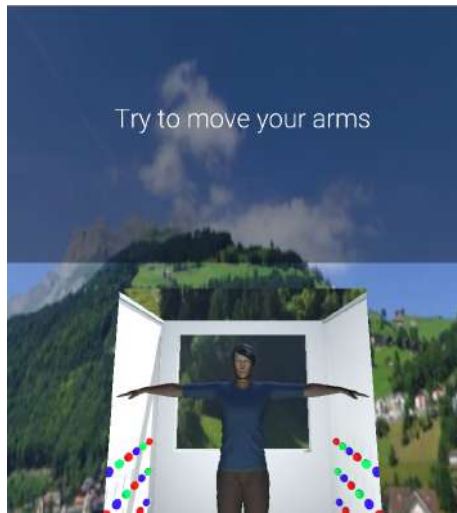
La session d'entraînement comporte 2 étapes. L'étape I permet : (1) au participant de voir son corps virtuel et de s'habituer à le contrôler ; et (2) de provoquer l'incarnation (e.g. en saisissant puis s'asseyant sur un tabouret réel, et par conséquent en provoquant une simulation synchrone entre les corps réel et virtuel du participant). L'étape II permet quand à elle d'entraîner le participant à interagir avec l'EV. Nous présentons ces étapes ci-dessous :

- Étape I : le participant apparaît en face d'un miroir virtuel, dans lequel il peut voir son corps virtuel. Après quelques secondes, un message demande au participant de bouger ses bras (cf. Fig. 5.5a). L'assistant doit valider cette action pour continuer. Un autre message demande alors au participant de s'approcher du miroir, puis de saisir un tabouret (suivi) et de s'y assoir (cf. Fig. 5.5b). Encore une fois, l'assistant doit valider ces actions pour continuer. Cette étape prend en moyenne 2 minutes ;
- Étape II : l'EV de l'étape I est remplacé par le magasin virtuel (cf. Sec. 5.5.2 pour des détails sur ce magasin). À la différence de celui utilisé dans l'expérience, il ne contient pas de produits alimentaires, mais 3 cubes (placés sur les présentoirs, cf. Fig. 5.5c). Une succession de messages affichés sur une TV demandent au participant de sélectionner les cubes, de les ajouter à sa liste d'achats et finalement de les enlever. Cette étape prend en moyenne 3 minutes.

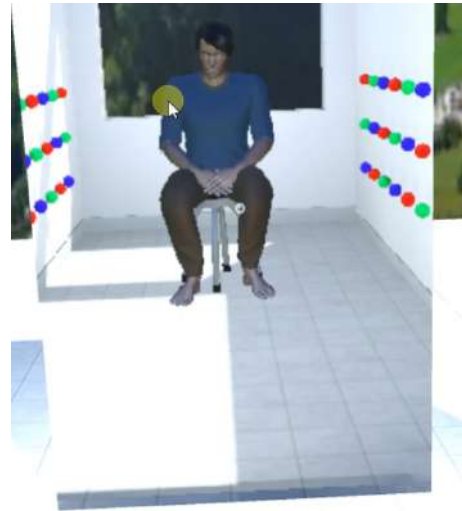
L'ensemble de la session d'entraînement prend en moyenne 5 minutes. Une fois terminée, un message sur la TV prévient le participant que l'expérience va commencer.

### 5.4.2 L'expérience (étape III)

Tous les produits du magasin virtuel sont visibles sur les présentoirs (cf. Fig. 5.6a et 5.6b). Le participant ajoute à sa liste d'achat les produits qu'il veut acheter. Lorsqu'il



(a) Un message (ici en anglais) au dessus du miroir demande au participant de bouger ses bras.



(b) Le participant est assis sur le tabouret et regarde son corps virtuel.



(c) Le magasin utilisé dans l'entraînement (étape II). Contrairement à l'étape I, le participant n'est pas forcé de regarder sa réflexion.



(d) Le participant est assis sur le tabouret et regarde son corps virtuel à l'aide de la réflexion de la fenêtre.

FIGURE 5.5 – Le participant lors de l'entraînement (étapes I et II)

a terminé ses achats, le participant s'assoit sur le tabouret pour indiquer à l'assistant qu'il/elle a terminé/e. Cette étape prend en moyenne 4 minutes. Nous enregistrons les actions du participant (i.e. l'ajout, l'enlèvement des produits au panier) et le temps qu'il prend.

### 5.4.3 Les questionnaires dans l'Environnement Virtuel (étape IV)

Les questions et la liste de réponses possibles apparaissent sur la TV et le participant y répond sur cette dernière. Si la réponse nécessite un nombre (e.g. "Quelle est votre estimation de l'âge de votre corps virtuel?"), le participant répond en augmentant ou diminuant le nombre affiché sur la TV, cf. Fig. 5.7a. Le participant doit compléter 3



(a) L'ensemble du magasin virtuel.

(b) Zoom sur les produits présents dans le magasin virtuel.



(c) La TV, ici sur le menu principal.

FIGURE 5.6 – Le magasin virtuel

questionnaires (cf. Tab. 5.1) dans l'EV :

- Le questionnaire de perception du repas (M) (repris de [31]). Ce questionnaire interroge le participant sur sa perception de sa liste d'achats. Le participant doit répondre à ce questionnaire sur une échelle de Likert à 5 points (à l'exception de l'item M1). Lorsque le questionnaire commence, tous les produits du magasin disparaissent à l'exception de ceux présents dans la liste d'achats du participant.
- Le questionnaire de perception du corps virtuel (VB). Ce questionnaire interroge le participant sur sa perception de son corps virtuel. Il est semblable au questionnaire démographique précédemment complété, car nous nous intéressons avant tout à : l'âge ; l'ethnie ; l'éducation et l'employabilité. Il comporte aussi des items sur le poids et la taille, pour calculer l'IMC du corps virtuel. Lorsque ce questionnaire commence, tous les produits du magasin disparaissent.
- Le questionnaire de perception de produit (Pr) (repris de [188]). Ce questionnaire interroge le participant sur sa perception d'une liste de produits. Le participant doit répondre à ce questionnaire sur une échelle de Likert à 5 points (à l'exception

de l'item Pr1) pour chacun des 10 produits suivants : filets de saumon ; 1 tomate ; poitrine de porc ; curry instantané ; canette de Coca-cola (33cl) ; bouteille de thé vert (froid, 50cl) ; ramen instantané<sup>5</sup> ; bouteille de jus de carotte (50cl) ; 1 pomme ; boîte de cookie au chocolat. Les produits sont présentés 1 à 1 sur un présentoir dans l'EV (cf. Fig. 5.7b). La nombre de produits à noter est volontairement limité à 10 pour limiter le temps passé dans l'EV. Ceux choisis couvrent différents type d'aliments (e.g. F&Ls, aliments préparés, soda, snack, etc.) et une large gamme de profil nutritionnel (cf. Sec. 5.5.4 et Fig. 5.11).

Finalement, nous avons mesuré le temps nécessaire aux participants pour répondre à chaque questionnaire.



(a) La télévision lorsque le participant doit entrer un nombre.



(b) Une barquette de filet de saumon. Le participant la regarde puis répond ensuite au questionnaire Pr.

FIGURE 5.7 – Le questionnaire dans l'environnement virtuel. L'ensemble du magasin est vidé de ses produits, et ne reste que les éléments importants au questionnaire (ici la TV ainsi qu'un présentoir avec le produit à noter).

À l'exception du questionnaire VB, créé pour cette occasion, tous les questionnaires utilisés (dans l'EV ou hors EV) sont entièrement ou partiellement repris des questionnaires utilisés dans des publications internationales revues par des pairs (plus de détails ci-dessous) et sont traduits de l'anglais vers le japonais par un professeur japonais expert en étude utilisateur. Nous les avons retranscrits en Français pour les besoins de cette thèse.

---

5. Bouillon de nouilles japonais.

| ID  | Question   |
|-----|--|
| M1  | Estimer l'énergie journalière requise couverte par les produits choisis (100% signifie qu'il y a assez de nourriture pour une journée) |
| M2  | De manière générale, je pense que les produits choisis sont appétissants   |
| M3  | De manière générale, je pense que les produits choisis sont sains  |
| M4  | De manière générale, je pense que les produits choisis sont écologiquement responsables  |
| M5  | De manière générale, j'aime les produits choisis   |
| VB1 | Quel est votre estimation de l'âge de votre corps virtuel  |
| VB2 | Quel est votre estimation de la taille de votre corps virtuel (en mètre)   |
| VB3 | Quel est votre estimation du poids de votre corps virtuel (en kilogramme)  |
| VB4 | Quel est votre estimation du sexe de votre corps virtuel   |
| VB5 | Quel est votre estimation de la région géographique d'origine de votre corps virtuel   |
| VB6 | Quel est votre estimation de plus haut diplôme académique reçu de votre corps virtuel  |
| VB7 | Quel est votre estimation du statut professionnel de votre corps virtuel   |
| Pr1 | Quel est votre estimation du prix de ce produit en Yen   |
| Pr2 | Je pense que ce produit est appétissant  |
| Pr3 | Je pense que ce produit est sain   |
| Pr4 | Je pense que ce produit est écologiquement responsable   |
| Pr5 | De manière générale, j'aime ce produit   |

TABLE 5.1 – Questions sur la perception de la liste d'achat (M), du corps virtuel (VB) et d'une liste de produits (Pr).

#### 5.4.4 Les questionnaires hors Environnement Virtuel (étape 5)

Après avoir répondu aux questionnaires dans l'EV (et une fois le visiocasque et la combinaison de suivi de mouvements enlevés), le participant doit répondre à un questionnaire post-expérimental (cf. Tab. 5.2) sur un ordinateur de bureau. Ce questionnaire est composé de 3 sous-questionnaires, tous notés sur une échelle de Likert à 5 points :

- 8 questions sur la préoccupation sanitaire du participant lorsqu'il/elle achète des produits alimentaires (reprises de la sous échelle *Intérêt Général dans la Santé* du questionnaire Échelle d'Attitude de la Santé et du Gout (Health and Taste Attitude Scale (HTAS), [160, 161]);
- 10 questions sur l'incarnation, inspirées de plusieurs articles [8, 57, 95];
- 3 questions sur la présence, reprises du questionnaire Slater-Usuh-Steed (SAS) [171].

## 5.5 L'environnement virtuel et le matériel utilisé

Nous présentons dans cette section les avatars, l'EV et le matériel utilisé dans notre expérience.

| ID  | Question   |
|-----|--|
| H1  | Je fais toujours attention à l'impact que les aliments ont sur ma santé  |
| H2  | Je suis toujours un régime sain et équilibré   |
| H3  | C'est important pour moi que mon régime soit faible en graisse   |
| H4  | C'est important pour moi que mon régime journalier contienne beaucoup de vitamines et de minéraux  |
| H5  | Je mange ce que j'aime et je m'inquiète pas de l'impact que les aliments ont sur ma santé  |
| H6  | Je n'évite aucun type d'aliments, même s'ils peuvent augmenter mon cholestérol   |
| H7  | Des aliments bon pour la santé n'ont que peu d'importance sur mes choix d'aliments   |
| H8  | Des snacks bon pour la santé n'a que peu d'importance pour moi   |
| E1  | J'ai pris conscience que mon corps était au même endroit que mon corps virtuel   |
| E2  | C'était comme si j'avais le contrôle de mon corps virtuel  |
| E3  | J'ai senti que mon corps virtuel était comme mon corps   |
| E4  | J'ai senti que mon corps et ma tête étaient à différents endroits, comme si j'avais été décapité   |
| E5  | J'ai senti que ma tête et mes yeux étaient à la même position que les cameras (ce que je voyais), tandis que mon corps était juste en dessous des cameras (ce que je voyais) |
| E6  | J'ai pris conscience que j'étais placé à une certaine distance derrière mon image, comme si je regardais quelqu'un d'autre   |
| E7  | J'ai senti que je provoquais le mouvement que je voyais  |
| E8  | Quand je bougeais mon corps, je m'attendais à ce que mon corps virtuel bouge de la même manière  |
| E9  | C'était comme si le corps virtuel avait une volonté propre   |
| E10 | J'ai senti que je regardais à mes propres bras   |
| P1  | J'ai senti que j'étais dans un environnement virtuel   |
| P2  | J'ai senti que l'environnement virtuel était comme la réalité  |
| P3  | J'ai senti que j'étais comme dans un vrai magasin  |

TABLE 5.2 – Questions sur la préoccupation de la santé lors d'achat de produits (H), l'incarnation (E) et la présence (P). Traduit en français pour les besoin de la thèse

### 5.5.1 Les avatars

Les avatars (cf. Fig. 5.8 et Fig. 5.9) ont été générés de manière procédurale (modélisation, “skinning”, etc.) dans Blender v2.7<sup>6</sup> à l'aide du ManuelbastioniLAB add-on v1.3<sup>7</sup> pour Blender. Les vêtements ont été manuellement modelés dans Marvelous Designer v6<sup>8</sup>.

Une fois générés et habillés, les avatars ont été importés dans Unity3D v5.5<sup>9</sup> et un shader leur a été ajouté pour leur donner une apparence plus réaliste.

Il y avait 4 avatars utilisables dans l'EV (2 hommes et 2 femmes, cf. Fig. 5.8) : 2 de poids normal (d'IMC  $\approx 23.5$  pour les hommes et  $\approx 19.5$  pour les femmes) et 2 obèses (d'IMC  $\approx 53$  pour les hommes et  $\approx 50$  pour les femmes). Les avatars ont été générés dans ManuelBastioniLAB avec les paramètres suivants : *Originnaire d'Asie de l'Est* et *25 ans* ; en effet  $\approx 70\%$  de nos participants étaient Japonais<sup>10</sup> et étudiants de 21-25 ans. De plus, la taille des avatars était égale à la moyenne Japonaise (172cm pour les hommes et 158cm

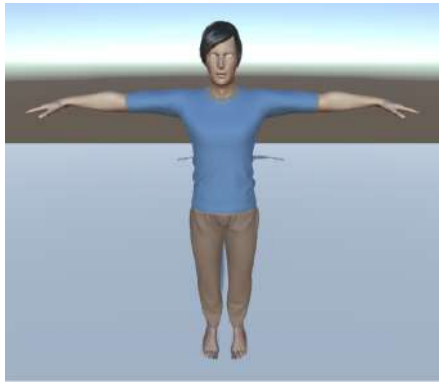
6. [www.blender.org](http://www.blender.org)

7. [www.manuelbastioni.com/manuellab.php](http://www.manuelbastioni.com/manuellab.php)

8. [www.marvelousdesigner.com](http://www.marvelousdesigner.com)

9. [www.unity3d.com](http://www.unity3d.com)

10. La nationalité d'un avatar n'a cependant pas d'incidence sur l'incarnation [75].

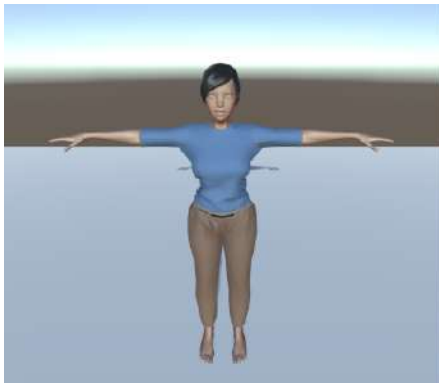


(a) L'avatar normal homme, pour le groupe N (IMC = 24.5).



(b) L'avatar obèse homme, pour le groupe OB (IMC = 53.25).

FIGURE 5.8 – Les avatars (hommes) de l'expérience



(a) L'avatar normal femme, pour le groupe N (IMC = 19.5).



(b) L'avatar obèse femme, pour le groupe OB (IMC = 50).

FIGURE 5.9 – Les avatars (femmes) de l'expérience

pour les femmes [196]), l'avatar était ensuite agrandi ou rapetissé pour être identique à la taille des participants.

Nous avons calculé le poids des avatars à partir de la formule *d'estimation du poids à partir de l'apparence* de Velardo [186] :

$$\begin{aligned}
 W_{\text{est}} = & -122.27 + 0.48 \times f_1 - 0.17 \times f_2 + 0.52 \times f_3 \\
 & + 0.16 \times f_4 + 0.77 \times f_5 + 0.49 \times f_6 + 0.58 \times f_7
 \end{aligned} \tag{5.1}$$

Pour chaque  $f_i$  nous avons, en cm : la taille ( $f_1$ ) ; la longueur de la cuisse ( $f_2$ ) ; la circonférence du mollet ( $f_3$ ) ; le bras (sans l'avant-bras) ( $f_4$ ) ; la circonférence du bras (sans l'avant-bras) ( $f_5$ ) ; la circonférence de la taille ( $f_6$ ) ; la circonférence de la cuisse ( $f_7$ ).

Le poids et la taille des avatars nous permettent de calculer leur IMC. Les catégories de l'IMC de nos avatars étaient ainsi : (1) Normale (l'IMC normale étant comprise entre 18.5 et 25) pour les avatars du groupe N et (2) Obèse de classe III (l'IMC d'un obèse de classe III étant supérieur à 40) pour les avatars du groupe OB.

Nous présentons ci-dessous le magasin virtuel et le type interaction utilisé.

### 5.5.2 Le magasin et ses fournitures

Le magasin virtuel (cf. Fig. 5.10a) et ses meubles ont été modélisés à la main dans Blender v2.7. Étant donné que l'espace de suivi est de  $6\text{m}^2$  ( $3 \times 2\text{m}$ ), le magasin est également de  $6\text{m}^2$  ( $3.5 \times 1.7\text{m}$ ) et comporte : 2 présentoirs pour les produits non-frais (1.2m chacun) ; 1 stand pour les F&Ls (1m) ; 1 stand pour la viande et le poisson (1m) ; et 1 stand pour les produits laitiers (0.65m). Bien que tous les participants se soient déplacés dans le magasin et aient approché les produits pour les inspecter, aucun n'a quitté l'espace de suivi, il n'y a donc pas eu de perte dans les suivi des mouvements.

Une imposante fenêtre ( $1.5 \times 1.3\text{m}$ ) était présente dans le mur nord. Cette fenêtre permet aux participants de voir l'extérieur du magasin (ou ils aperçoivent un parking) ainsi, que plus important, la réflexion de leur avatar. Des marques de salissures et des empreintes digitales sur la fenêtre ont été ajoutées par souci de réalisme. Une TV est présente sur le mur ouest (cf. Fig. 5.10b). La TV affiche toutes les informations nécessaires de l'expérience (e.g. le produit actuellement sélectionné, son prix, les questions et réponses des questionnaires, etc.).

### 5.5.3 Une interaction basée sur la direction du regard

Afin de sélectionner un produit, le participant devait le regarder pendant 0.5s (un réticule, qui était placé au centre de la vue, changeait de couleur et s'agrandissait dans cet intervalle). Une fois sélectionné, le produit s'affichait sur la TV, et le participant pouvait ensuite l'ajouter à sa liste d'achat en fixant le bouton "ajouter à la liste d'achat" présent sur la TV (durant 1.0s). Lorsque le produit était ajouté à la liste, alors il disparaissait de l'EV. Le participant pouvait également décider d'enlever un produit de sa liste d'achat en fixant le bouton "enlever un produit de la liste d'achat" (durant 1.0s) puis en fixant le





(a) Le magasin virtuel.

(b) La télévision présente dans le magasin virtuel, lors de l’affichage d’un questionnaire.

FIGURE 5.10 – Le magasin virtuel utilisé dans l’expérience, avec la TV. Bien que l’endroit semble étroit sur l’image, il laissait en réalité une espace suffisant pour pouvoir se déplacer et se retourner sans encombre.

nom du produit à enlever (durant 2.0s, le délai étant plus long afin d’éviter des erreurs éventuelles). Une fois le produit enlevé de la liste d’achat, il réapparaissait dans l’EV à sa position d’origine. La TV affichait également le montant actuellement dépensé et celui restant à dépenser. A chaque interaction, il y avait un retour visuel et audio afin de faciliter les interactions utilisateurs.

#### 5.5.4 Les produits et le Facteur de Santé des Produits

Tous les produits présents dans le magasin étaient disponibles couramment dans les GMS au Japon. Le prix de chaque produit était décidé à partir de la moyenne des prix relevés dans les supermarchés réels alentours au moment de l’expérience. Presque tous les produits ont été modélisées manuellement dans Blender, puis texturés avec des images 2D de haute résolution des produits réels (cf. Fig. 5.6b). Toutefois les F&Ls et les bouteilles de jus de carottes et de thé vert ont été scannées en 3D à l’aide du Scanner Artec Eva<sup>11</sup> (en effet, à cause de la forme cylindrique de ces produits, il était difficile d’en prendre une photo pour les texturer).

Afin d’évaluer le FSP, nous avons utilisé le profil nutritionnel de l’UK Ofcom [158] et calculé le score Profil Nutritionnel (PN) de chaque produit. Le score PN (pour la nourriture comme pour la boisson) nécessite des connaître les détails sur la composition

11. <https://www.artec3d.com/3d-scanner/artec-eva>

de l'aliment pour 100g de contenu nutritionnel. Les variables d'intérêts étant : l'énergie (kJ), les acides gras saturés (g), le sucre (g), le sodium (mg), le pourcentage de fruits - légumes - noix, les fibres alimentaires (g)<sup>12</sup>, et les protéines (g). Plus ce score est faible, plus l'aliment est sain. Une nourriture ayant un score  $> 4$  et une boisson ayant un score  $> 1$  sont considérés comme non-sains. Lorsque les ingrédients nécessaires pour calculer le score PN n'étaient pas disponibles, nous les obtenions soit à partir des catalogues du fabricant (si disponible) soit à partir de la base de données USDA Food Composition<sup>13</sup>, en nous basant alors sur un produit similaire.

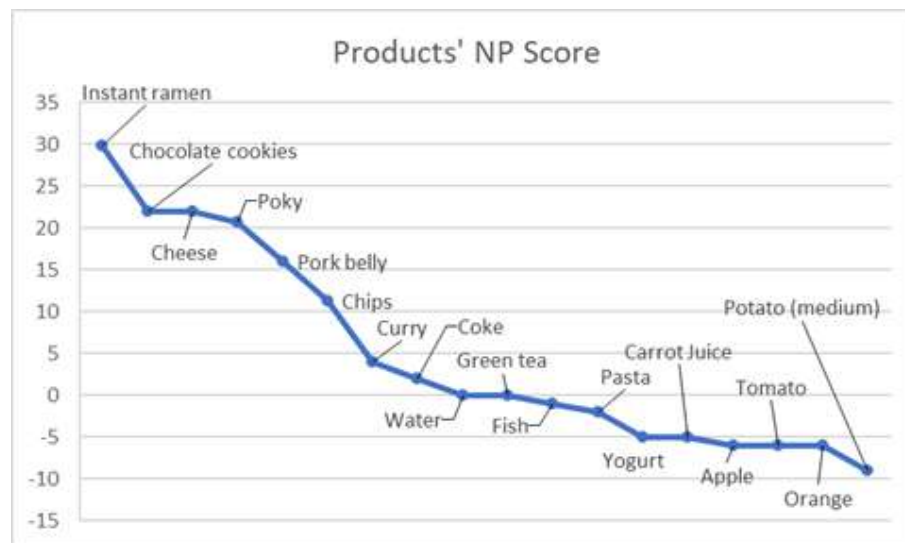


FIGURE 5.11 – La liste des produits du magasin virtuel par rapport à leur score PN.

### 5.5.5 Le matériel utilisé

Le suivi de mouvement du participant était effectué par 11 cameras Optitrack Flex 3<sup>14</sup> dans un espace de 6m<sup>2</sup> (3 × 2m). Les participants portaient une combinaison Optitrack avec 35 marqueurs (cf. Fig. 5.3). Ils étaient immergés dans l'EV à l'aide du visiocasque Oculus CV1<sup>15</sup>. Un tabouret, suivi avec 4 marqueurs, était présent (cf. Fig. 5.12a). Les participants pouvaient s'y assoir librement.

En plus de provoquer un stimulus tactile, le tabouret permettait aux participants de se reposer (cf. Fig. 5.5d et Fig. 5.12b). Aucun de nos 29 participants ne nous a signalé ressentir des nausées, de la fatigue ou un problème de suivi (e.g. des mouvements de

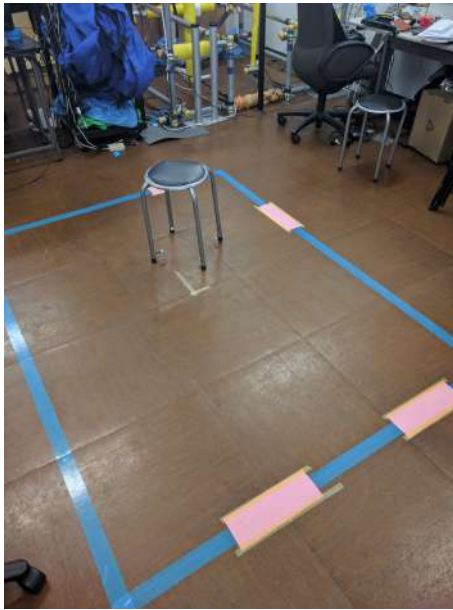
12. En utilisant la méthode des non-starch polysaccharides (NSP) [63].

13. [www.ndb.nal.usda.gov](http://www.ndb.nal.usda.gov)

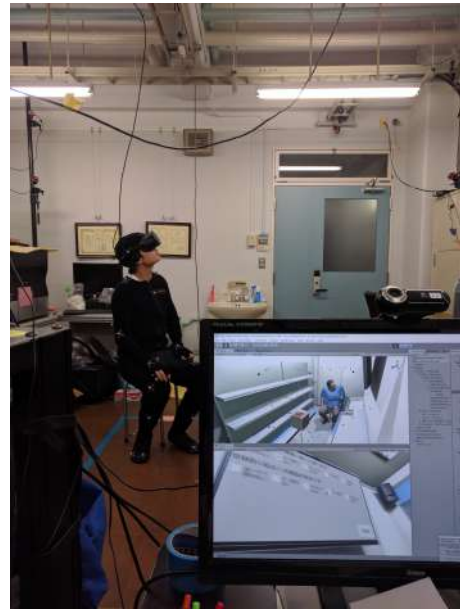
14. [www.optitrack.com/products/flex-3](http://www.optitrack.com/products/flex-3)

15. [www.oculus.com/rift](http://www.oculus.com/rift)

l'avatar indépendants de la volonté du participant). Notre système avait donc une latence suffisamment faible et était suffisamment stable pour supporter le suivi pour la durée de l'expérience.



(a) La zone de suivi (avec le tabouret).



(b) Participant durant l'expérience.

FIGURE 5.12 – La pièce dans laquelle l'expérience a eu lieu. Notons que le visiocasque était relié au plafond et avait suffisamment de jeu pour que le participant ne soit pas gêné par le fil lors de ses déplacements.

## 5.6 Résultats

Nous présentons ici les résultats obtenus lors de l'étude. À partir des informations données dans les Sec. 5.1 et 5.2, nous formulons les hypothèses suivantes :

- (H1) : les participants incarnés dans un corps virtuel obèses achètent davantage de produits non-sains (càd avec un score  $PN > 4$ ) et moins de sains (tel que les F&Ls) que les participants incarnés dans un corps normal ;
- (H2) : les participants incarnés dans un corps obèse perçoivent : (i) les aliments comme étant plus sains qu'ils ne le sont vraiment ; et (ii) leur teneur calorique comme étant moins importante qu'ils ne l'est vraiment par rapport aux participants incarnés dans un corps normal ;
- (H3) : les participants incarnés dans un corps obèse perçoivent leur corps virtuel comme ayant une éducation et un emploi plus bas que les participants incarnés dans un corps sain ;

- (H4) : les participants incarnés dans un corps obèse sont davantage concernés par le fait que les aliments soient bons pour la santé après avoir quitté l'EV que ceux incarnés dans un corps sain.

### 5.6.1 Méthodologie et homogénéité des groupes

Pour comparer nos groupes, nous avons réalisé une analyse de variance (ANOVAs avec les valeurs alpha corrigées de Bonferroni [56]) avec un intervalle de confiance de 95%. Le résultat est donc significatif si  $p \leq 0.05$ . Nous avons testé l'homogénéité entre groupes (i.e. le groupe N et OB) en calculant le  $\chi^2$  (chi-2) pour la variable non-métrique de l'*ethnicité* et l'ANOVAs pour celle métrique du *Poids*. Les 2 groupes sont homogènes vis à vis de l'éthnicité ( $\chi^2 = 0.114, df = 1, p = 0.705$ ) et du poids ( $F(1, 27) = 0.872, p = 0.359$ ). En moyenne, les participants ont passé 20 minutes dans l'EV et 35 dans la salle d'expérimentation. De plus, les participants ont exprimé de l'intérêt vis à vis de l'expérience, ce qui nous incite à penser qu'ils l'ont faite sérieusement.

### 5.6.2 L'incarnation et la présence

Les coefficient de l'alpha de Cronbach pour l'incarnation (10 questions, de E1 à E10, cf. Tab. 5.2) et la présence (3 questions, de P1 à P3, cf. Tab. 5.2) étaient respectivement de 0.742 et 0.668. Bien que l'alpha de Cronbach pour la présence montre que le groupement de ces questions peut-être remis en question, nous les avons néanmoins regroupés car elles étaient reprise (bien qu'adapté à notre environnement) du questionnaire de Slater-Usuh-Steed. Nous avons groupé ces questions (respectivement sous le terme d'Incarnation et de Présence) et avons calculé les ANOVAs sur ces groupements, cf. Tab. 5.3). Nous n'avons pas observé de différence significative. Notre expérience était donc comparable, vis à vis de l'Incarnation et de la Présence, entre les 2 groupes.

### 5.6.3 La perception des avatars

Nous avons réalisé un test  $\chi^2$  sur les variables non-métriques du questionnaire VB : l'éthnicité (question VB5), le niveau d'éducation (question VB6) et le type d'activité professionnelle (question VB7). Nous n'avons pas relevé de différences significatives sur

TABLE 5.3 – Moyenne (M), écart-type (*sigma*) et ANOVAs pour l'*Incarnation* (I) et la *Presence* (P).

| Question                                    | N (n=16) |       | OB (n=13) |       | ANOVA    |       |
|---|----------|-------|-----------|-------|----------|-------|
|   | M        | sigma | M         | sigma | F(1, 27) | p     |
| Incarnation<br>(groupement de 10 questions) | 37.5     | 6.0   | 36.5      | 6.95  | 0.159    | 0.694 |
| Presence<br>(groupement de 3 questions)     | 10.6     | 2.57  | 10.6      | 2.57  | 0.005    | 0.946 |

ces variables. Les résultats étaient respectivement :  $\chi^2 = 3.850, df = 6, p = 0.697$  ;  $\chi^2 = 3.850, df = 3, p = 0.275$  ; et  $\chi^2 = 6.960, df = 3, p = 0.073$ .

Nous avons ensuite réalisé une ANOVA sur la perception qu'avaient les participants de leur avatar vis à vis de l'*Age<sub>VB</sub>* (question VB1,  $F(1, 27) = 5.460, p = 0.027$ ) ; la *Taille<sub>VB</sub>* (question VB2,  $F(1, 27) = 0.171, p = 0.683$ ) ; et le *Poids<sub>VB</sub>* (question VB3,  $F(1, 27) = 53.672, p < 10^{-6}$ ). Nous avons observé des différences significatives pour les questions VB1 et VB3 (cf. Tab. 5.4).

**Corrélation Taille / Taille VB - VB2** Nous avons également réalisé une corrélation de Pearson suivie par un t-test entre la taille des participants (*Taille*) et celle des avatars perçue par les participants (*Taille<sub>VB</sub>*). Nous avons observé une relation linéairement positive et statistiquement significative pour le groupe N ( $corr = 0.744, p = 0.004$ ) et pour le groupe OB ( $corr = 0.834, p < 0.00001$ ). Ce résultat était attendu, car les participants sont de la même taille que leur avatar. La différence entre *Taille* et *Taille<sub>VB</sub>* était pour le groupe N :  $M = 1.77cm, DS = 6.44cm, t = 0.990, df = 12, p = 0.342$  ; et pour le groupe OB :  $M = 2.87cm, DS = 5.67cm, t = 0.990, df = 15, p = 0.061$ .

TABLE 5.4 – Moyenne (M), écart-type (*sigma*) et ANOVAs pour *Age<sub>VB</sub>*, *Height<sub>VB</sub>* et *Weight<sub>VB</sub>* variables.

| Question                 | N (n=16) |       | OB (n=13) |       | ANOVA    |                  |
|--------------------------|----------|-------|-----------|-------|----------|------------------|
|                          | M        | sigma | M         | sigma | F(1, 27) | p                |
| VB1                      | 27.0     | 4.56  | 32.2      | 6.85  | 5.460    | <b>0.027</b>     |
| VB2                      | 169      | 8.32  | 171       | 8.75  | 0.171    | 0.683            |
| VB3                      | 63.9     | 9.13  | 156       | 24.2  | 53.67    | <b>&lt;0.001</b> |
| <i>Time<sub>VB</sub></i> | 168      | 60    | 222       | 64    | 5.288    | <b>0.029</b>     |

***Age<sub>VB</sub>* - question VB1** Les participants du groupe N ont perçu leur avatar comme étant significativement plus jeune ( $F(1, 27) = 5.460, p = 0.027$ ) que les participants du

groupe OB, bien que les avatars ont été générés avec le même paramètre age (cf. Sec. 5.5.1).

**Poids<sub>VB</sub> - question VB3** Les participants du groupe N ont perçu leur avatar comme étant significativement moins lourd que les participants du groupe OB ( $F(1, 27) = 53.67, p < 0.001$ ). Ce résultat était fortement attendu.

Finalement, nous avons relevé une différence significative dans le temps passé à répondre aux questions sur l'avatar ( $Temps_{VB}$ ). Les participants du groupe N ont pris significativement plus de temps à répondre aux questions sur leur avatar que ceux du groupe OB ( $F(1, 27) = 5.288, p = 0.029$ ).

#### 5.6.4 Les données consommateurs

Nous avons réalisé des ANOVAs sur plusieurs données consommateurs : le score PN des produits achetés ; sur leur composition (i.e. énergie (kJ), les acides gras saturés (g), le sucre (g), le sodium (mg), le pourcentage de fruits - légumes - noix, les fibres alimentaires (g), et les protéines (g)) ; leur nombre (individuellement et par catégorie) ; et l'argent dépensé. Nous n'avons observé aucune différence significative dans le score PN ni dans la composition des produits achetés (cf. Tab. 5.5).

TABLE 5.5 – Moyenne (M), écart-type (*sigma*) et ANOVAs pour le score PN et la composition des produits achetés.

| Data                      | N (n=16) |              | OB (n=13) |              | ANOVA    |       |
|---------------------------|----------|--------------|-----------|--------------|----------|-------|
|                           | M        | <i>sigma</i> | M         | <i>sigma</i> | F(1, 27) | p     |
| NP                        | 22.84    | 23.63        | 27.73     | 24.61        | 0.293    | 0.592 |
| Énergie                   | 6362     | 2343         | 6376      | 3372         | 0.000    | 0.990 |
| Acide gras sat.           | 29.73    | 13.32        | 28.46     | 17.23        | 0.048    | 0.829 |
| Sucre                     | 66.87    | 30.36        | 62.91     | 38.17        | 0.092    | 0.763 |
| Sodium                    | 2059     | 1128         | 2099      | 1618         | 0.006    | 0.940 |
| Fibres alimentaires (NSP) | 11.61    | 5.133        | 9.231     | 6.41         | 1.172    | 0.289 |
| Protéine                  | 40.22    | 22.90        | 45.04     | 20.91        | 0.349    | 0.559 |

Il n'y avait pas non plus de différence significative dans l'argent dépensé, le nombre total de produits achetés (cf. Tab. 5.6) ou leur nombre par catégorie de produit (à l'exception du thé vert, cf. Tab. 5.9). En effet, les participants du groupe N ont acheté significativement moins de thé vert que le groupe OB ( $F(1, 27) = 6.438, p = 0.017$ ). Finalement, nous avons calculé les ANOVAs sur le temps passé dans le magasin et le nombre de pro-

duits ajoutés et enlevés du panier. Encore une fois, nous n'avons pas relevé de différences significatives.

TABLE 5.6 – Moyenne (M), écart-type (*sigma*) et ANOVAs pour le temps passé dans le magasin (Temps), le nombre de produits achetés (Total acheté) et l'argent dépensé en Yen japonais (Total dépensé).

| Data          | N (n=16) |              | OB (n=13) |              | ANOVA    |       |
|---------------|----------|--------------|-----------|--------------|----------|-------|
|               | M        | <i>sigma</i> | M         | <i>sigma</i> | F(1, 27) | p     |
| Temps (s)     | 237      | 115          | 230       | 115          | 0.026    | 0.873 |
| Total acheté  | 8.54     | 3.26         | 7.63      | 3.78         | 0.471    | 0.498 |
| Total dépensé | 1359     | 543          | 1286      | 579          | 0.019    | 0.892 |

### 5.6.5 La perception du panier

Nous avons réalisé une ANOVA sur chaque question du questionnaire de perception du repas (M, cf. Tab. 5.1), mais nous n'avons pas relevé de différence significative (cf. Tab. 5.7). De la même manière, il n'y avait pas de différence significative sur le  $Temps_{VB}$  (le temps passé par participant à répondre au questionnaire).

TABLE 5.7 – Moyenne (M), écart-type (*sigma*) et ANOVAs pour le questionnaire M.

| Question  | N (n=16) |              | OB (n=13) |              | ANOVA    |       |
|-----------|----------|--------------|-----------|--------------|----------|-------|
|           | M        | <i>sigma</i> | M         | <i>sigma</i> | F(1, 27) | p     |
| M1        | 74.6     | 23.0         | 64.9      | 22.8         | 1.276    | 0.269 |
| M2        | 4.15     | 0.55         | 4.20      | 0.40         | 0.064    | 0.802 |
| M3        | 2.85     | 0.80         | 2.73      | 1.062        | 0.094    | 0.761 |
| M4        | 2.69     | 0.63         | 2.86      | 0.72         | 0.444    | 0.511 |
| M5        | 4.38     | 0.65         | 4.08      | 0.77         | 1.315    | 0.261 |
| $Temps_M$ | 101      | 35           | 101       | 15           | 0.003    | 0.955 |

### 5.6.6 La perception des produits

Nous avons réalisé une ANOVA sur chaque question du questionnaire des produits (Pr, cf. Sec. 5.1). Nous n'avons pas constaté de différences significatives pour aucun produit à l'exception du Coca-cola (pour la santé) et la pomme (pour le prix). Nous ne reportons ci-dessous (cf. Tab. 5.8) que les ANOVAs avec des différences significatives.

Les participants du groupe N ont perçu (i) le Coca-cola comme significativement moins sain que ceux du groupe OB ( $F(1, 27) = 6.647, p = 0.016$ ), et (ii) la pomme comme significativement moins chère que ceux du groupe OB ( $F(1, 27) = 4.994, p = 0.034$ ).

TABLE 5.8 – Moyenne (M), écart-type (*sigma*) et ANOVAs pour les questions significatives du questionnaire Pr.

| Question               | N (n=16) |              | OB (n=13) |              | ANOVA    |              |
|------------------------|----------|--------------|-----------|--------------|----------|--------------|
|                        | M        | <i>sigma</i> | M         | <i>sigma</i> | F(1, 27) | p            |
| <b>Coca-cola</b> - Pr3 | 1.54     | 0.52         | 1.13      | 0.34         | 6.647    | <b>0.016</b> |
| <b>Pomme</b> - Pr1     | 89.1     | 25.0         | 111       | 26.5         | 4.994    | <b>0.034</b> |

Ajoutons qu'il n'y avait pas de différence significative dans le temps passé pour noter l'ensemble des produits ( $F(1, 27) = 2.047, p = 0.164$ ).

### 5.6.7 L'importance de la santé

Les coefficients de l'alpha de Cronbach sur les questions liées à "l'importance d'acheter des aliments sains pour la santé" étaient de 0.743 (8 questions, de H1 à H8, cf. Tab. 5.2). Par conséquent nous avons regroupés les 8 questions de ce questionnaire et avons réalisé une ANOVA sur ce groupement. L'ANOVA n'a pas détecté de différences significatives (cf. Tab. 5.10).

## 5.7 Discussion

Cette étude s'est focalisée sur l'incarnation en RV. Nous nous sommes en particulier focalisés sur les changements de comportement et de perception en fonction de l'apparence de l'avatar. Nous avons donc observé le comportement des consommateurs lors de l'achat, leur perception de leur avatar, ainsi que celle de différents produits, et également les changements d'intérêt dans leur santé alimentaire lorsqu'ils étaient incarnés dans un avatar soit d'IMC "normal" soit obèse.

Bien que des études précédentes aient montré que les participants incarnés tendent à se comporter de la même manière que leur avatar (e.g. Kilteni et al. [98] montrent que les participants changent la manière dont ils jouent de la musique en fonction de leur avatar), nous n'avons pas trouvé de changements de comportement et seulement 2 changements perceptifs de produits entre les groupes. Nous discutons de ces résultats ci-dessous.



TABLE 5.9 – Moyenne (M), écart-type (*sigma*) et ANOVAs pour le nombre de produits achetés par produit.

| Conditions                | N (n=16) |              | OB (n=13) |              | ANOVA    |              |
|---------------------------|----------|--------------|-----------|--------------|----------|--------------|
|                           | M        | <i>sigma</i> | M         | <i>sigma</i> | F(1, 27) | p            |
| Pomme de terre            | 1.00     | 1.15         | 0.69      | 1.14         | 0.534    | 0.471        |
| Tomate                    | 0.85     | 1.21         | 0.75      | 1.00         | 0.055    | 0.817        |
| Orange                    | 0.46     | 0.66         | 0.19      | 0.54         | 1.504    | 0.231        |
| Pomme                     | 0.62     | 0.77         | 0.31      | 0.48         | 1.690    | 0.205        |
| Porc (type 1)             | 0.46     | 0.52         | 0.50      | 0.52         | 0.040    | 0.844        |
| Porc (type 2)             | 0.15     | 0.38         | 0.13      | 0.34         | 0.047    | 0.830        |
| Poisson (type 1)          | 0.23     | 0.60         | 0.50      | 0.52         | 1.690    | 0.205        |
| Thé vert (boisson)        | 1.00     | 0.82         | 0.38      | 0.50         | 6.438    | <b>0.017</b> |
| Jus de carotte            | 0.38     | 0.51         | 0.19      | 0.40         | 1.364    | 0.253        |
| Coca-cola                 | 0.23     | 0.44         | 0.44      | 0.51         | 1.325    | 0.260        |
| Bouteille d'eau           | 0.15     | 0.38         | 0.31      | 0.60         | 0.684    | 0.416        |
| Pâte (type 1)             | 0.08     | 0.27         | 0.06      | 0.25         | 0.022    | 0.884        |
| Pâte (type 2)             | 0.15     | 0.38         | 0.25      | 0.58         | 0.268    | 0.609        |
| Fromage (type 1)          | 0.15     | 0.38         | 0.13      | 0.34         | 0.047    | 0.830        |
| Fromage (type 2)          | 0.08     | 0.28         | 0.00      | 0.00         | 1.241    | 0.275        |
| Yoghourt (type 1)         | 0.46     | 0.52         | 0.56      | 0.51         | 0.275    | 0.604        |
| Yoghourt (type 2)         | 0.08     | 0.28         | 0.19      | 0.40         | 0.705    | 0.409        |
| Chips (type 1)            | None     | None         | None      | None         | None     | None         |
| Chips (type 2)            | 0.31     | 0.48         | 0.31      | 0.60         | 0.001    | 0.982        |
| Cookies chocolat (type 1) | 0.15     | 0.38         | 0.19      | 0.40         | 0.053    | 0.819        |
| Cookies chocolat (type 2) | 0.23     | 0.44         | 0.06      | 0.25         | 1.690    | 0.205        |
| Cookies chocolat (type 3) | 0.15     | 0.38         | 0.25      | 0.45         | 0.382    | 0.542        |
| Curry instantané (type 1) | 0.46     | 0.52         | 0.50      | 0.52         | 0.040    | 0.844        |
| Curry instantané (type 2) | 0.15     | 0.38         | 0.19      | 0.40         | 0.053    | 0.819        |
| Ramen instantané (type 1) | 0.00     | 0.00         | 0.25      | 0.45         | 4.034    | 0.055        |
| Ramen instantané (type 2) | 0.54     | 0.52         | 0.25      | 0.45         | 2.586    | 0.119        |
| Ramen instantané (type 3) | 0.00     | 0.00         | 0.06      | 0.25         | 0.807    | 0.377        |

### 5.7.1 L'incarnation et la présence

Même si nos participants ont un IMC moyen de 21.8 (cf. Sec. 5.3), il n'y avait pas de différence significative sur l'incarnation et la présence dans un avatar ayant un IMC plus important (ici obèse, avec un IMC de 53 pour les hommes et 50 pour les femmes). Ces résultats sont en lien avec ceux d'études précédentes [99, 134, 147], où les participants avec un type d'avatar différent ont des niveaux de présence et d'incarnation similaires. Chacun des 2 groupes a une bonne perception de l'EV, car les participants étaient capables de se déplacer dans l'EV avec précision (e.g. d'inspecter les produits, de saisir le tabouret, etc.). Nous avons de plus mis en évidence une relation significative, linéaire et positive entre la taille des participants et celle de leur avatar. Cette relation est cependant plus

TABLE 5.10 – Moyenne (M), écart-type (*sigma*) et ANOVAs pour le questionnaire d'*Intérêt Général dans la Santé* (Intérêt santé).

| Question                                     | N (n=16) |              | OB (n=13) |              | ANOVA    |       |
|--|----------|--------------|-----------|--------------|----------|-------|
|  | M        | <i>sigma</i> | M         | <i>sigma</i> | F(1, 27) | p     |
| Intérêt santé<br>(groupement de 8 questions) | 22.23    | 3.632        | 23.19     | 6.080        | 0.249    | 0.622 |

importante pour le groupe OB que le groupe N, probablement parce que les participants du groupe OB ont passé davantage de temps à inspecter leur avatar (i.e. le groupe OB a passé significativement plus de temps à compléter le questionnaire VB), et par conséquent ont inspecté leur avatar avec plus d'attention. En effet, même si le groupe OB n'a pas eu besoin de plus de temps pour s'adapter à leur nouveau type de corps durant la phase d'entraînement, ils ont eu besoin de plus de temps pour examiner et évaluer leur avatar (probablement à cause de la difficulté d'apprécier un corps largement différent du leur).

Modifier le poids des corps virtuels ne semble pas avoir changé la perception spatiale des participants (étant donné qu'ils ont évalué la taille de leur avatar avec une bonne précision (l'erreur moyenne était de 8.436cm), mettant en avant que les participant incarnés dans un corps obèse gardent néanmoins une bonne perception spatiale dans l'EV.

### 5.7.2 Comportement d'achat

Nous n'avons pas identifié de différences significatives dans les données d'achat, mis à part pour le nombre de bouteilles de thé vert achetées. En accord avec notre hypothèse H1, nous nous attendions à ce que le groupe OB achète davantage d'aliments à haute valeur calorique [178] et moins sains [176]. Cependant nous n'avons pas relevé de différences significatives entre les groupes dans le score PN, ou dans le nombre total de calories achetées (cf. Tab. 5.5). Par conséquent, l'apparence de l'avatar n'a pas influencé le comportement d'achat des participants, et l'hypothèse H1 est rejetée. Il n'y avait pas non plus de différences significatives dans l'argent total dépensé, même si des travaux précédents ont montré une corrélation négative entre l'argent dépensé dans un supermarché et l'IMC [107].

Nous ne pouvons que supposer des raisons pour laquelle le groupe OB a acheté significativement plus de bouteilles de thé vert. Puisque le thé vert a un score PN de 0 (avec 1 calorie/100ml [61]), nous pouvons assumer que le groupe OB ne l'a pas acheté en pensant

acheter un produit avec un haut contenu calorique. Une explication possible est que le thé vert est vu comme un produit très sain [91], et que par conséquent les participants incarnés dans des avatars obèses en ont acheté en nombre plus important afin de devenir eux-même plus sains. En effet, de nombreuses études sur la perception de la nourriture ont montré que la nourriture saine est vue comme plus saine qu'elle ne l'est en réalité [19] (pour l'ensemble de la population). Pourtant, si cette explication suffisait à justifier cette différence, alors nous devrions également noter une augmentation dans le nombre de F&Ls achetés par les participants (les F&Ls sont également sains), ce qui n'était pas le cas.

Peut-être que les participants n'avaient pas suffisamment de contacts avec la population obèse et ignoraient comment changer leur comportement pour représenter celui des personnes obèses (seulement 3.7% de la population Japonaise est obèse [139] en 2012). Cependant certains de nos participants étaient originaire d'Europe (35%), où le nombre de personnes obèses est plus important (environ 20% de la population [136]). De plus, les médias présentent régulièrement le style de vie des personnes obèses, par conséquent les participants avaient une certaine connaissance de leur comportement (bien que probablement très stéréotypée et stigmatisante [156]).

Les participants incarnés n'ont donc pas adapté leur comportement d'achat en fonction de leur corps virtuel (i.e. acheter davantage de produits non-sain ou avec plus de calorie). Nous proposons plusieurs causes possibles (CP) pour expliquer ce comportement contraire à notre hypothèse H1 :

- CP1 Le type de corps n'est pas accepté : il est possible que certains types de corps virtuels ne provoquent pas de changement de comportement. À la différence des types de corps utilisés dans des précédentes études (e.g. enfant [14] ; joueur de tambour [98]) un corps obèse est associé des stéréotypes très stigmatisants. Il est cependant possible que les changements de comportement n'ont pas pu s'exprimer car le participant "refusait" de s'identifier à un corps obèse.
- CP2 Les changements de comportement requièrent des changements psychologiques qui sont susceptibles de nécessiter davantage d'éléments qu'un haut niveau de présence et d'incarnation. Kilteni et al. [98] a par exemple suggéré que l'incarnation amène des changements de comportement quand le corps virtuel est plus adapté pour faire une tâche que le corps réel. Il est par conséquent possible que ces

changements psychologiques nécessitent une motivation pour justifier un transfert de compétence (et par conséquent de changement de comportement) d'un corps à l'autre.

- CP3 Le comportement d'achat des personnes obèses est plus complexe que nous le pensions.

### 5.7.3 La perception du panier et des produits

Nous n'avons pas observé de différences significative dans la perception du panier. Vis à vis du questionnaire Pr cependant, le groupe OB a perçu le Coca-cola comme significativement plus sain. Nous ne sommes pas sûrs des raisons de ce résultat. Il est possible qu'il soit dû au fait que l'IMC est associé à une estimation moins précise dans le contenu calorique des produits et à l'estimation du FSP [33]. Ce manque de précision pourrait avoir participé à cette différence de perception, mais si c'était le cas alors elle aurait également dû être observée avec d'autres produits à haut contenu calorique (tels que les cookies aux chocolats, les ramen instantanés, etc.).

Le prix de la pomme a été perçu comme significativement plus élevé par le groupe OB. Il est possible que cela soit dû à une dissonance cognitive [62] : les participants du groupe OB recherchent une égalité entre leur désir ("je veux être en bonne santé") et leur comportement ("mon corps est obèse, je n'achète donc pas que des produits sains"), et ont essayé en conséquence d'éliminer cette dissonance entre leur désir et leur comportement ("je n'ai pas un corps sain parce que je ne mange pas des produits sains. Je ne mange pas de produits sains parce que je n'en achète pas. Je n'en achète pas parce qu'ils sont chers"). Toutefois nous n'avons pas trouvé de différences significatives dans la perception du prix pour d'autres produits sains (tels que la tomate ou le jus de carotte).

Notre hypothèse H2 n'est ainsi pas complètement rejetée. En effet nous n'avons observé que 2 différences significatives. Toutefois, comme mentionné précédemment, la raison de ces différences de perception n'est pas claire.

### 5.7.4 La perception de l'avatar

Nous avons observé une différence significative entre les 2 groupes vis à vis du poids de leur corps virtuel. Étant donné que les avatars étaient générés spécifiquement pour

provoquer cette différence, ce résultat était fortement espéré. Nous avons toutefois relevé une différence entre les groupes vis à vis de l'âge perçu des corps virtuels. Le groupe OB a perçu son avatar comme significativement plus vieux. Une explication pour cette différence est que l'IMC est positivement corrélé à une apparence plus vieille, cf. [78]. Il n'y avait cependant pas de différences significatives vis à vis du niveau d'éducation et du type d'emploi occupé par l'avatar, bien que de nombreuses études ont mis en évidence des liens entre l'obésité et un faible niveau social et éducatif dans les pays développés [53] (en particulier vis à vis de l'éducation [125]), ou un IMC important est associé un faible niveau d'éducation et d'employabilité [180].

Pourtant les participants du groupe OB n'ont pas évalué leur avatar comme ayant un nombre d'année d'étude moindre ou un type d'emploi plus précaire, même si les avatars étaient clairement perçus comme obèses. Par conséquent l'incarnation ne semble pas avoir transmis ces stéréotypes.

### 5.7.5 Intérêt dans la santé

Finalement, les avatars n'ont pas causé d'effet à court terme dans l'intérêt qu'a le participant pour sa santé lorsqu'il achète des aliments, rejetant ainsi l'hypothèse H4. Comme il y avait peu de différences de comportement et de perception lorsque l'on est incarné, il est possible que les participants du groupe OB ne se soient pas sentis comme des personnes obèses même une fois incarnés (probablement à cause de la stigmatisation liée à ce type de corps).

## 5.8 Limitations

Il existe de nombreuses limitations à cette étude. Notre échantillon de participants ( $N = 29$ ) était limité, nous n'avons pas eu la possibilité de tester d'autres hypothèses, tel qu'un avatar en surpoids à la place d'un obèse. De plus nos participants étaient relativement homogènes (des étudiants ingénieurs jeunes) et recourir à des participants avec une culture différente pourraient avoir donné des résultats différents. Cependant ces limitations sont habituelles dans ce genre d'expérience utilisateur.

Il existe cependant des limitations plus importantes, tel qu'un contraste peut-être

trop important entre le corps réel des participants et leur corps virtuel. Ce contraste, comme suggéré par [203], pourrait avoir diminué l’activation du construct associé avec les personnes obèses, par conséquent ayant moins d’effet sur les changements de perception et de comportement. Toutefois, il ne s’agit que d’une supposition, rappelons ainsi que Banakou et al. [14] ne semblent pas avoir souffert de cette limitation, bien qu’ils incarnaient des adultes dans un corps d’enfant.

Nous avons incarné les participants dans un corps virtuel, et les avons immergés dans un magasin virtuel. Nous sommes confiants sur le fait que les niveaux d’incarnation et d’immersion était suffisants. Toutefois, l’immersion en science marketing demande davantage qu’un magasin virtuel 3D et un visiocospe. Pour étudier le comportement d’achat des produits alimentaires, l’expérience d’appropriation [80] est importante et traverse plusieurs étapes telle que la pré-appropriation, durant laquelle le sujet construit ses désirs pour un produit à partir de stimuli internes et externes. A cause des contraintes de notre expérience, nous n’avons pas inclus d’étape d’appropriation et n’avons ainsi pas laissé le temps aux participants de “s’approprier” le lieu une fois incarnés dans le corps virtuel (e.g. les laisser se demander plus longtemps ce qu’il allait pouvoir acheter).

## 5.9 Conclusion

Dans cette étude nous avons comparé la perception des produits et le comportement d’achat dans un magasin virtuel de participants incarnés soit dans un corps “normal” soit dans un corps obèse. Nous nous sommes principalement intéressés aux changements de comportement d’achats et de perceptions de produits alimentaires. Nous avons relevé plusieurs différences significatives : le groupe OB achète davantage de bouteilles de thé vert, perçoit le Coca-cola comme plus sain et la pomme plus chère que le groupe N. Il n’y avait cependant pas de différences dans la prise de conscience des participants du facteur santé des aliments après avoir quitté l’EV.

Nous avons cependant relevé un changement de perception vis à vis du facteur santé du Coca-cola et du prix des pommes, montrant que modifier le poids du corps virtuel des participants peut impacter leur perception des produits alimentaires. Ces résultats ne correspondent pas à un changement de comportement d’achat vis à vis du Coca-cola ou

des pommes. La raison pour laquelle les participants ont perçu certains de ces produits comme différent va au delà de cette étude, en effet les recherches sur le comportement d'achat des aliments est un sujet complexe, montrant que, de manière générale, le choix de la nourriture est lié à des préférences hédonistes, écologiques et personnelles. Cette étude est cependant, à notre connaissance, la première à utiliser l'incarnation virtuelle pour étudier le comportement d'achat et la perception des produits dans un magasin virtuel.

# Conclusion

Nous rappelons tout d'abord ici les différentes étapes ainsi que les résultats les plus pertinents de notre thèse. Ceux-ci nous permettent de répondre à la question posée en introduction et qui résume la problématique de cette thèse : “étudier la faisabilité d’étudier le comportement des consommateurs dans un magasin virtuel proposant des F&Ls “moches” ”.

Avant de réaliser les études utilisateurs, il était nécessaire de mettre en place un environnement virtuel (ici un magasin virtuel) regroupant de nombreux F&Ls standards et non-standards. De plus, afin d’étudier l’incidence du degré de déformation sur le comportement consommateur, il est nécessaire de pouvoir facilement configurer le niveau de déformation (de faiblement à fortement déformé) des F&Ls. C’était l’étape 1 de notre travail.

Nous avons pour cela développé une méthode capable de générer de manière semi-procédurale des F&Ls d’apparence variable à partir d’un F&L “normal”. Cette méthode nous a permis de générer un important nombre de F&Ls virtuels qui ont ensuite “peuplé” notre magasin virtuel.

Nous avons ensuite étudié l’impact que les F&Ls virtuels ont sur la perception et le comportement des consommateurs immergés dans un magasin virtuel immersif, en fonction de leur niveau de déformation. Nous avons pour cela réalisé une étude utilisateur ( $n = 142$ ) dans laquelle 4 groupes de participants (1 confronté à des F&Ls standards, 1 confronté à des F&Ls faiblement déformés<sup>1</sup>, 1 confronté à des F&Ls raisonnablement

---

1. Légère différence de calibre, faible différence de forme (légère courbe, etc.).



déformés<sup>2</sup>, et 1 confronté à des F&Ls hautement déformés<sup>3</sup>) et avons observé leur perception (impression et qualité) des F&Ls et leur comportement d'achat. Nous avons relevé des différences dans la perception mais n'avons pas relevé de différence dans le comportement d'achat pour des niveaux de présence et d'interaction équivalents. Parmi les résultats les plus pertinents, notons que les participants ont évalué les F&Ls raisonnablement déformés comme étant de meilleure qualité que les F&Ls faiblement ou fortement déformés. Les consommateurs associent donc un degré de déformation donné à un niveau de qualité, et ont une attente quand à ce degré de déformation (ici, des F&Ls raisonnablement déformés).

Une fois l'impact des F&Ls standards et non-standards exploré, nous avons comparé différents environnements lorsque les consommateurs achètent des F&Ls standards et non-standards. Nous avons pour cela réalisé une étude utilisateur ( $n = 196$ ) où 3 groupes de participants (1 dans un magasin laboratoire, 1 dans un magasin virtuel non-immersif et 1 dans un magasin virtuel immersif) ont successivement acheté des F&Ls standards puis non-standards (ou non-standards puis standards, pour éviter l'effet d'ordre) et avons observé leur perception (impression et qualité) des F&Ls et leur comportement d'achat. Nous avons relevé quelques différences de perception et des différences de comportement d'achat. Les différences de perception concernent la comparaison entre le magasin réel et le magasin immersif, sur l'apparence et la qualité sanitaire des F&Ls. Les différences de comportement d'achats (i.e. davantage de produits achetés et de promesses d'achats futurs) sont elles cohérentes avec la littérature et impactent le magasin non-immersif et immersif. Parmi les résultats les plus pertinents, notons que (1) le magasin virtuel non-immersif est comparable en perception avec le magasin laboratoire, tandis que le magasin non-immersif est lui comparable avec le magasin laboratoire sur presque toutes les variables étudiées ; et (2) il existe des biais de comportements consommateurs récurrents entre le magasin réel et les magasins virtuels, qu'il est nécessaire d'anticiper. Ajoutons également que la présence est plus importante dans le magasin immersif que dans le magasin non-immersif, mais le confort (lié à la durée d'utilisation maximale) est moindre.

---

2. Différence de calibre visible, différence de forme visible (élongations, courbes, bulbes, etc.).

3. Importante différence de calibre, importante différence de forme (élongations, courbes, bulbes, etc.), présence de racines et/ou branches.

La RV immersive peut générer des différences qui n'existent pas avec la RV non-immersive (comme le met en avant l'étude précédente). Nous avons décidé d'étudier plus en avant ces différences, en étudiant le phénomène d'incarnation. L'incarnation peut en effet modifier la perception et le comportement de l'utilisateur incarné. Nous avons pour cela réalisé une étude utilisateur ( $n = 29$ ) où 2 groupes de participants (1 groupe incarné dans des avatars d'indice de masse corporelle normal, et 1 groupe incarné dans des avatars obèses) et avons observé leur perception des produits et leur comportement d'achat. Nous avons observé des différences de perception (sur des produits et variables précis), et une très légère différence de comportement utilisateur (sur un produit en particulier). Ces résultats semblent indiquer que la représentation virtuelle du consommateur a un impact sur la perception et le comportement de celui-ci, et qu'il convient donc de faire attention à ce biais potentiel lors d'études consommateurs.

Nous avons donc montré qu'il était possible de trouver une solution technique à la mise en place du magasin virtuel. Nous avons ensuite montré que les degrés de déformations des F&Ls avaient un impact sur la perception de la qualité de ceux-ci. Puis nous avons montré que les magasins virtuels sont, sur la majorité des variables étudiées, comparables aux magasins réels sur la perception des F&Ls, mais qu'il est nécessaire de prendre en compte le biais du comportement d'achat de l'utilisateur. Finalement nous avons montré que la représentation virtuelle de l'utilisateur avait un impact sur des produits donnés dans un supermarché virtuel.

Nos résultats nous indiquent donc qu'il est possible de réaliser des études consommateurs analysant l'achat de F&Ls moches dans un supermarché virtuel, à la condition de porter une attention particulière :

- aux biais de comportement d'achats ;
- aux biais éventuels créés par le type de Virtual Reality (VR) immersive utilisée ;
- aux modèles 3D utilisés, afin que ceux-ci apparaissent raisonnablement déformés ;
- à la représentation virtuelle de l'utilisateur, afin que celle-ci ne l'influence pas vers un type de produit donné.

Il reste cependant encore des pistes à explorer. Nous aurions ainsi aimé aller plus loin dans la mise en place du magasin virtuel, dans celle des F&Ls et finalement étudier

l'impact de l'incarnation pour les F&Ls moches :

- En développant un supermarché virtuel hautement fidèle (en taille, catégorie et détail des produits proposés ; le magasin de Waterland et al. [194] s'approche par exemple d'un tel magasin), puis en le comparant avec un supermarché virtuel plus faiblement fidèle afin de savoir si la différence de réalisme a un impact dans le comportement d'achat des participants. Des études en RV ont déjà montré qu'une haute fidélité visuelle d'un corps virtuel n'était pas forcément nécessaire pour susciter une appropriation de celui-ci [121, 119]. Il est donc possible que le niveau de détail d'un magasin virtuel n'ait également qu'une influence limitée sur le comportement d'achat. Parce que le coût (en temps et en ressources) de mise en place d'un magasin virtuel est important, pouvoir le limiter en proposant un environnement faiblement fidèle est une piste que nous aurions aimé explorer. Autrement dit : est-il nécessaire de modéliser un supermarché virtuel à haute fidélité lorsqu'on veut étudier le rayon F&Ls ?
- Les participants n'ont pu utiliser que la vue lors de la sélection et l'achat des F&Ls virtuel. Dans la réalité cependant, les F&Ls (en France du moins) se touchent et se sentent. Davantage de travail sur la représentation visuelle du toucher (à l'aide de textures pseudo-haptiques [79]) et de l'odeur (à l'aide de forme, de couleur et d'objets, comme on peut le voir dans certaines publicité pour la lessive) aurait pu être explorée, afin de vérifier si des indications sur le toucher et l'odeur peut faire diminuer les différences observées entre le magasin réel et le magasin virtuel ;
- Enfin, nous avons montré dans le chapitre 5 (cf. Sec. 5.9) que l'apparence de l'avatar avait un impact sur la perception et le comportement pour certains type de produits (en fonction de l'avatar). La suite logique de cette étude est de vérifier si des différences sont également visibles avec des F&Ls non-calibrés.

Dans notre cas, parce que nous désirions une correspondance entre le magasin laboratoire et le magasin virtuel, nous n'avons pas pu utiliser un supermarché plus réaliste (en taille par exemple) ; (2) lors de l'étude comparative entre le magasin laboratoire et les magasins virtuels, les participants ne devaient pas manipuler les F&Ls réels (afin d'éviter de les abimer), ils n'ont donc pas pu utiliser le toucher et l'odorat.

Finalement, nous nous sommes principalement concentrés sur les F&Ls au court de

cette thèse. Cependant d'autres types de produits (frais ou non, e.g. la viande, le fromage, mais aussi les ustensiles de cuisine usagés) ont également profité de la politique anti-gaspillage du secteur de la grande distribution avec les "gueules cassées" [110], et il aurait été intéressant de savoir si nos résultats sont similaires ou non à ces produits "moches" ou déclassés.

# Bibliographie

- [1] 20|20 Research. Virtual reality | 20|20 research. <http://www.2020research.com/virtual-reality/>. [2016-05-25].
- [2] D. A. Aaker, V. Kumar, R. Leone, and G. Day. *Marketing Research*. Wiley, 11 edition, 2012.
- [3] Actu-Environnement. Amap - définition. [https://www.actu-environnement.com/ae/dictionnaire\\_environnement/definition/amap.php4](https://www.actu-environnement.com/ae/dictionnaire_environnement/definition/amap.php4), 2017. [2017-10-01].
- [4] D. C. Adams and M. J. Salois. Local versus organic : A turn in consumer preferences and willingness-to-pay. *Renewable Agriculture and Food Systems*, 25(04) :331–341, dec 2010.
- [5] A. Aggarwal, A. J. Cook, J. Jiao, R. A. Seguin, A. Vernez Moudon, P. M. Hurvitz, and A. Drewnowski. Access to Supermarkets and Fruit and Vegetable Consumption. *American Journal of Public Health*, 104(5) :917–923, may 2014.
- [6] Agin and Binford. Computer Description of Curved Objects. *IEEE Transactions on Computers*, C-25(4) :439–449, apr 1976.
- [7] Alim’Agri Site de l’agriculture et de l’alimentation. Présentation du pacte national de lutte contre le gaspillage alimentaire. <http://agriculture.gouv.fr/presentation-du-pacte-national-de-lutte-contre-le-gaspillage-alimentaire>, 06 2013. [2017-08-01].
- [8] J. E. Aspell, B. Lenggenhager, and O. Blanke. Keeping in Touch with One’s Self : Multisensory Mechanisms of Self-Consciousness. *PLoS ONE*, 4(8) :e6488, aug 2009.
- [9] Audencia. Audencia. <http://www.audencia.com/en/>. [2016-05-25].
- [10] P. Aurier and L. Siriex. *Marketing des produits agroalimentaires*. Dunod, 2009.

- 
- [11] Auteur anonyme. Tomate cœur de bœuf. <http://www.euro.who.int/en/health-topics/disease-prevention/nutrition/a-healthy-lifestyle/body-mass-index-bmi>, 2018. [2018-02-05].
  - [12] J. A. Bærentzen, M. K. Misztal, and K. Welnicka. Converting Skeletal Structures to Quad-Dominant Meshes. *Computer & Graphics*, 36(5) :555–561, 2012.
  - [13] J. N. Bailenson and S. J. Ahn. Self-endorsing versus other-endorsing in virtual environments : the effect on brand attitude and purchase intention. *Journal of advertising*, 40(2) :93–106, 2011.
  - [14] D. Banakou, R. Groten, and M. Slater. Illusory ownership of a virtual child body causes overestimation of object sizes and implicit attitude changes. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110(31) :12846–12851, jul 2013.
  - [15] D. Banakou, P. D. Hanumanthu, and M. Slater. Virtual embodiment of white people in a black virtual body leads to a sustained reduction in their implicit racial bias. *Frontiers in Human Neuroscience*, 10, nov 2016.
  - [16] J. A. Bargh, M. Chen, and L. Burrows. Automaticity of social behavior : Direct effects of trait construct and stereotype activation on action. *Journal of Personality and Social Psychology*, 71(2) :230–244, 1996.
  - [17] J. Baudry, S. Péneau, B. Allès, M. Touvier, S. Hercberg, P. Galan, M.-J. Amiot, D. Lairon, C. Méjean, and E. Kesse-Guyot. Food Choice Motives When Purchasing in Organic and Conventional Consumer Clusters : Focus on Sustainable Concerns (The NutriNet-Santé Cohort Study). *Nutrients*, 9(2) :88, jan 2017.
  - [18] I. Bergström, K. Kilteni, and M. Slater. First-Person Perspective Virtual Body Posture Influences Stress : A Virtual Reality Body Ownership Study. *PLOS ONE*, 11(2) :e0148060, feb 2016.
  - [19] H. Bertéus Forslund, J. S. Torgerson, L. Sjöström, and A. K. Lindroos. Snacking frequency in relation to energy intake and food choices in obese men and women compared to a reference population. *International Journal of Obesity*, 29(6) :711–719, 2005.
  - [20] V. Bevilacqua, G. Filograno, M. Fiorentino, and A. E. Uva. Early diagnosis of lung tumors by genetically optimized 3D-metaball malignancy metric. In *Proceedings*

- of the fourteenth international conference on Genetic and evolutionary computation conference companion - GECCO Companion '12*, page 531, New York, New York, USA, 2012. ACM Press.
- [21] O. Blanke and T. Metzinger. Full-body illusions and minimal phenomenal selfhood. *Trends in Cognitive Sciences*, 13(1) :7–13, jan 2009.
  - [22] J. F. Blinn. Simulation of Wrinkled Surfaces. *SIGGRAPH Comput. Graph.*, 12(3) :286–292, Aug. 1978.
  - [23] J. F. Blinn. A Generalization of Algebraic Surface Drawing. *ACM Transactions on Graphics*, 1(3) :235–256, jul 1982.
  - [24] K. J. Blom, J. Arroyo-Palacios, and M. Slater. The effects of rotating the self out of the body in the full virtual body ownership illusion. *Perception*, 43(4) :275–294, 2014.
  - [25] J. Bloomenthal. Modeling the mighty maple. *ACM SIGGRAPH Computer Graphics*, 19(3) :305–311, jul 1985.
  - [26] E. Bohl, O. Terraz, and D. Ghazanfarpour. Modeling fruits and their internal structure using parametric 3Gmap L-systems. *The Visual Computer*, 31(6-8) :819–829, jun 2015.
  - [27] M. Botvinick and J. Cohen. Rubber hands ‘feel’ touch that eyes see. *Nature*, 391(6669) :756, feb 1998.
  - [28] D. A. Bowman and R. P. McMahan. Virtual Reality : How Much Immersion Is Enough ? *Computer*, 40(7) :36–43, jul 2007.
  - [29] E. Bressoud. Testing FMCG innovations : experimental real store versus virtual. *Journal of Product & Brand Management*, 22(4) :286–292, 2013.
  - [30] M.-E. Brierley, K. R. Brooks, J. Mond, R. J. Stevenson, and I. D. Stephen. The Body and the Beautiful : Health, Attractiveness and Body Composition in Men’s and Women’s Bodies. *PLOS ONE*, 11(6), jun 2016.
  - [31] T. Bucher, B. Müller, and M. Siegrist. What is healthy food? Objective nutrient profile scores and subjective lay evaluations in comparison. *Appetite*, 95 :408–414, dec 2015.

- [32] R. R. Burke, B. A. Harlam, B. E. Kahn, and L. M. Lodish. Comparing dynamic consumer choice in real and computer-simulated environments. *Journal of Consumer Research*, 19(1) :71, 1992.
- [33] R. A. Carels, J. Harper, and K. Konrad. Qualitative perceptions and caloric estimations of healthy and unhealthy foods by behavioral weight loss participants. *Appetite*, 46(2) :199–206, mar 2006.
- [34] W. Carlson. A critical history of computer graphics and animation. <http://excelsior.biosci.ohio-state.edu/~carlson/history/IndexFrames.html>, 2003. [2017-08-01].
- [35] E. Catmull and J. Clark. Recursively generated b-spline surfaces on arbitrary topological meshes. *Computer-Aided Design*, 10(6) :350–355, 1978.
- [36] CBI Market Intelligence. *Channels and Segments : Fresh Fruit and Vegetables in Europe*. CBI Market Intelligence, Septembre 2016.
- [37] M. Cieslak, F. Boudon, S. Kenouche, M. Zanca, C. Goze-Bac, M. Génard, C. Godin, and N. Bertin. Generating 3D Volumetric Meshes of Internal and External Fruit Structure. *In International Symposium on Models for Plant Growth, Environmental Control and Farm Management in Protected Cultivation - Hortimodel 2012*, 957 :239–245, 2012.
- [38] Clemson Cooperative Extension. Tomato Diseases and Disorders. [http://clemson.edu/extension/hgic/pests/plant\\_pests/veg\\_fruit/hgic2217.html](http://clemson.edu/extension/hgic/pests/plant_pests/veg_fruit/hgic2217.html). [2017-10-10].
- [39] CNRTL. Fruit : Définition de fruit. <http://www.cnrtl.fr/definition/fruit>, 2012. [2017-08-01].
- [40] CNRTL. Légume : Définition de légume. <http://www.cnrtl.fr/definition/l%C3%A9gume>, 2012. [2017-08-01].
- [41] G. Coates. Program from invisible site – a virtual show. Technical report, A multimedia performance work presented by George Coates Performance Works, San Francisco, CA, March 1992.



- [42] Commission Européenne. Fruits et légumes : normes de commercialisation. [https://ec.europa.eu/agriculture/fruit-and-vegetables/marketing-standards\\_fr](https://ec.europa.eu/agriculture/fruit-and-vegetables/marketing-standards_fr), Aout 2017. [2017-08-05].
- [43] Commission Européenne. Food waste. [https://ec.europa.eu/food/safety/food\\_waste\\_en](https://ec.europa.eu/food/safety/food_waste_en), 2017. [2017-08-01].
- [44] R. Cook. Fresh - cut/value - added produce marketing trends. [https://arefiles.ucdavis.edu/uploads/filer\\_public/fb/7b/fb7b6380-cdf9-4db5-b5d2-993640bcc1e6/freshcut2016cook20160926final.pdf](https://arefiles.ucdavis.edu/uploads/filer_public/fb/7b/fb7b6380-cdf9-4db5-b5d2-993640bcc1e6/freshcut2016cook20160926final.pdf), Septembre 2016. [2017-08-01].
- [45] Cooperation International Regulatory. *International Regulatory Co-operation*. OECD Publishing, nov 2016.
- [46] E. P. Cox. The optimal number of response alternatives for a scale : A review. *Journal of Marketing Research*, 12(4) :407–422, nov 1980.
- [47] CRVM. Qu’est-ce que la réalité virtuelle ? la réalité virtuelle c’est quoi ? présentation de la réalité virtuelle et de ses applications. [http://crvm.ism.univ-amu.fr/qu\\_est\\_ce\\_que\\_la\\_realite\\_virtuelle.html](http://crvm.ism.univ-amu.fr/qu_est_ce_que_la_realite_virtuelle.html), 2017. [2017-08-01].
- [48] J. J. Cummings and J. N. Bailenson. How Immersive Is Enough ? A Meta-Analysis of the Effect of Immersive Technology on User Presence. *Media Psychology*, 19(2) :272–309, apr 2016.
- [49] Dassault Systèmes. Perfect Shelf. <http://www.3ds.com/industries/consumer-packaged-goods-retail/perfect-shelf/>. [2016-05-25].
- [50] N. David, A. Newen, and K. Vogeley. The sense of agency and its underlying cognitive and neural mechanisms. *Consciousness and Cognition*, 17(2) :523–534, Juin 2008.
- [51] N. David, S. Skoruppa, A. Gulberti, J. Schultz, and A. K. Engel. The Sense of Agency Is More Sensitive to Manipulations of Outcome than Movement-Related Feedback Irrespective of Sensory Modality. *PLOS ONE*, 11(8) :e0161156, Aout 2016.
- [52] I. E. de Hooge, M. Oostindjer, J. Aschemann-Witzel, A. Normann, S. M. Loose, and V. L. Almli. This apple is too ugly for me ! : Consumer preferences for suboptimal

- food products in the supermarket and at home. *Food Quality and Preference*, 56, Part A :80–92, mar 2017.
- [53] J. Delva, P. M. O'Malley, and L. D. Johnston. Racial/ethnic and socioeconomic status differences in overweight and health-related behaviors among american students : National trends 1986–2003. *Journal of Adolescent Health*, 39(4) :536–545, oct 2006.
- [54] B. Desbenoit, E. Galin, and S. Akkouche. Modeling cracks and fractures. *The Visual Computer*, 21(8-10) :717–726, sep 2005.
- [55] Définition Marketing. Définition : Magasin laboratoire. <https://www.definitions-marketing.com/definition/magasin-laboratoire/>, 3 2017. [2018-02-01].
- [56] O. J. Dunn. Estimation of the medians for dependent variables. *The Annals of Mathematical Statistics*, 30(1) :192–197, mar 1959.
- [57] H. H. Ehrsson. The Experimental Induction of Out-of-Body Experiences. *Science*, 317(5841) :1048–1048, aug 2007.
- [58] Ephytia. Tache Jonathan. <http://ephytia.inra.fr/fr/D/7569>. [2017-10-10].
- [59] EUR-Lex. Eur-lex - 32001l0113 - en - eur-lex. <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/en/ALL/?uri=CELEX:32001L0113>, 2017. [2017-08-01].
- [60] D. Fan, S. Liu, and Y. Wei. Fruit ring rot simulation based on reaction-diffusion model. In *Proceedings - 2013 International Conference on Virtual Reality and Visualization, ICVRV 2013*, pages 199–205. Ieee, sep 2013.
- [61] FatSecret. Green Tea. <https://www.fatsecret.com/calories-nutrition/generic/tea-green>, 2017. [2017-12-06].
- [62] L. Festinger. *A theory of cognitive dissonance*, volume 2. Stanford university press, 1962.
- [63] Food and A. O. of the United Nations. <http://www.fao.org/docrep/w8079e/w8079e0i.htm>. <http://www.fao.org/docrep/W8079E/w8079e0i.htm>, 2018. [2018-03-05].
- [64] Food and Agriculture Organization of the United Nations. Global food losses and food waste. <http://www.fao.org/docrep/014/mb060e/mb060e.pdf>, 2011. [2016-05-19].

- [65] Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rôle de la FAO dans la lutte contre les pertes et gaspillages alimentaires. <http://www.fao.org/food-loss-and-food-waste/fr/>, 2017. [2017-05-19].
- [66] D. R. Fowler, P. Prusinkiewicz, and J. Battjes. A collision-based model of spiral phyllotaxis. *ACM SIGGRAPH Computer Graphics*, 26(2) :361–368, jul 1992.
- [67] France Agrimer. Enquête sur les pratiques et les habitudes de consommation des fruits et légumes. <http://www.franceagrimer.fr/index.php/Stockage-Actualites/Archives/2016/Enquete-sur-les-pratiques-et-les-habitudes-de-consommation-des-fruits-et-legumes%28filier%29/2/%28nodeActu%29/228>, 04 2016. [2017-10-01].
- [68] France Agrimer, Ctifl, and Interfel. *Achats de fruits et légumes frais par les ménages français*. France Agrimer, Mars 2015.
- [69] France Agrimer and CSA Research. *Pratiques et habitudes de consommation de fruits et légumes*. France Agrimer, Avril 2016.
- [70] M. Fuhrer, H. W. Jensen, and P. Prusinkiewicz. Modeling hairy plants. *Graphical Models*, 68(4) :333–342, jul 2006.
- [71] M. Génard, N. Bertin, C. Borel, P. Bussieres, H. Gautier, R. Habib, M. Lechaudel, A. Lecomte, F. Lescourret, P. Lobit, and B. Quilot. Towards a virtual fruit focusing on quality : modelling features and potential uses. *Journal of Experimental Botany*, 58(5) :917–928, jan 2007.
- [72] M. Génard, N. Bertin, H. Gautier, F. Lescourret, and B. Quilot. Virtual profiling : a new way to analyse phenotypes. *The Plant Journal*, 62(2) :344–355, jan 2010.
- [73] M. González-Franco, T. C. Peck, A. Rodríguez-Fornells, and M. Slater. A threat to a virtual hand elicits motor cortex activation. *Experimental brain research*, 232(3) :875–887, 2014.
- [74] Gorilla in The Room. Case study : O2 point of sale research with vr. <http://www.gorillaitr.com/blog/case-study-o2-point-of-sale-research-with-vr>. [2016-05-25].

- [75] V. Groom, J. N. Bailenson, and C. Nass. The influence of racial embodiment on racial bias in immersive virtual environments. *Social Influence*, 4(3) :231–248, jul 2009.
- [76] J. Gu, C.-I. Tu, R. Ramamoorthi, P. Belhumeur, W. Matusik, and S. Nayar. Time-varying Surface Appearance : Acquisition, Modeling and Rendering. *ACM Trans. Graph.*, 25(3) :762–771, July 2006.
- [77] A. Gustafson, S. Lewis, K. Moore, and S. Jilcott. Food venue choice, consumer food environment, but not food venue availability within daily travel patterns are associated with dietary intake among adults, Lexington Kentucky 2011. *Nutrition journal*, 12(1) :17, 2013.
- [78] B. Guyuron, D. J. Rowe, A. B. Weinfeld, Y. Eshraghi, A. Fathi, and S. Iamphongsai. Factors contributing to the facial aging of identical twins. *Plastic and Reconstructive Surgery*, 123(4) :1321–1331, apr 2009.
- [79] T. Hachisu, G. Cirio, M. Marchal, A. Lécuyer, and H. Kajimoto. Pseudo-haptic feedback augmented with visual and tactile vibrations. In *2011 IEEE International Symposium on VR Innovation*, pages 327–328, March 2011.
- [80] A. H. Hansen and L. Mossberg. *Handbook on the Experience Economy*, chapter Consumer immersion : a key to extraordinary experiences. Edward Elgar Publishing, Cheltenham, UK, 2013.
- [81] C. Y. Huang, W. T. Jheng, W. K. Tai, C. C. Chang, and D. L. Way. Procedural grape bunch modeling. *Computers & Graphics*, 37(4) :225–237, jun 2013.
- [82] Hypergrid Business. Report : 98 <http://www.hypergridbusiness.com/2016/11/report-98-of-vr-headsets-sold-this-year-are-for-mobile-phones/>, novembre 2016. [2017-08-01].
- [83] In-Store Marketing Institute and Insights, Industry. Shaping Retail : The Use of Virtual Store Simulations in Marketing Research and Beyond. In *In-Store Marketing Institute*, page 23. INDUSTRY INSIGHTS, 2009.
- [84] InContext. Maximize your investment in promotional marketing : Winning with shoppermx<sup>TM</sup>. <https://www.incontextsolutions.com/shoppermx-success/maximize-your-investment-in-promotional-marketing>. [2016-05-25].

- 
- [85] InContext. Virtual reality shopper and retail simulations. <https://www.incontextsolutions.com/virtual-reality-solutions/retail-simulations>. [2016-05-25].
  - [86] Insee. Définition - hypermarché | insee. <https://www.insee.fr/fr/metadonnees/definition/c1825>, 2017. [2017-08-01].
  - [87] Insee. Définition - supermarché | insee. <https://www.insee.fr/fr/metadonnees/definition/c1449>, 2017. [2017-08-01].
  - [88] Interfel. La réglementation < économie et réglementation. <http://www.interfel.com/fr/la-reglementation/>, 8 2017. [2017-08-01].
  - [89] Ionis Brand Culture. Cas n°61 : Les fruits et légumes moches d'intermarché. <https://www.ionisbrandculture.com/les-fruits-et-legumes-moches-d-intermarche-61>, 2014. [2017-08-01].
  - [90] K. Ip. *The effects of stereotype threat on the eating behaviours and intellectual performance of overweight and obese women*. PhD thesis, Univesrity of Windsor, 2011.
  - [91] B. Jae-Oke and H. Jae-Sook. A study on perception and actual status of utilization for green tea. *Journal of the Korean Society of Food Culture*, 19(2) :184–192, 2004.
  - [92] B. Jeannequin, D. Plénet, F. Carlin, J.-E. Chauvin, and F. Dosba. Pertes alimentaires dans les filières fruits, légumes et pomme de terre., 2015.
  - [93] Z. Ji, L. Liu, and Y. Wang. B-Mesh : A modeling system for base meshes of 3D articulated shapes. *Computer Graphics Forum*, 29(7) :2169–2177, 2010.
  - [94] P. Joshi, M. Meyer, T. DeRose, B. Green, and T. Sanocki. Harmonic coordinates for character articulation. *ACM Transactions on Graphics*, 26(3) :71, jul 2007.
  - [95] A. Kalckert and H. H. Ehrsson. Moving a Rubber Hand that Feels Like Your Own : A Dissociation of Ownership and Agency. *Frontiers in Human Neuroscience*, 6(March) :40, 2012.
  - [96] J. T. Kider. *Simulation of 3D model, shape, and appearance aging by physical, chemical, biological, environmental, and weathering effects*. PhD thesis, University of Pennsylvania, 2012.

- 
- [97] J. T. Kider, S. Raja, and N. I. Badler. Fruit senescence and decay simulation. *Computer Graphics Forum*, 30(2) :257–266, 2011.
  - [98] K. Kilteni, I. Bergström, and M. Slater. Drumming in Immersive Virtual Reality : The Body Shapes the Way We Play. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 19(4) :597–605, apr 2013.
  - [99] K. Kilteni, R. Groten, and M. Slater. The Sense of Embodiment in Virtual Reality. *Presence : Teleoperators and Virtual Environments*, 21(4) :373–387, nov 2012.
  - [100] K. Kilteni, A. Maselli, K. P. Kording, and M. Slater. Over my fake body : body ownership illusions for studying the multisensory basis of own-body perception. *Frontiers in Human Neuroscience*, 9(March), mar 2015.
  - [101] K. Kilteni, J.-M. Normand, M. V. Sanchez-Vives, and M. Slater. Extending Body Space in Immersive Virtual Reality : A Very Long Arm Illusion. *PLoS ONE*, 7(7) :e40867, jul 2012.
  - [102] A. E. Kim, J. M. Nonnemaker, B. R. Loomis, P. R. Shafer, A. Shaikh, E. Hill, J. W. Holloway, and M. C. Farrelly. Influence of Point-of-Sale Tobacco Displays and Graphic Health Warning Signs on Adults : Evidence From a Virtual Store Experimental Study. *American Journal of Public Health*, 104(5) :888–895, 2014. PMID : 24625149.
  - [103] P. Krištof, B. Beneš, J. Křivánek, and O. Št’ava. Hydraulic Erosion Using Smoothed Particle Hydrodynamics. *Computer Graphics Forum*, 28(2) :219–228, apr 2009.
  - [104] Laboratoire de Cyberpsychologie de l’UQO. Immersion and sens of presence. [http://w3.uqo.ca/cyberpsy/en/pres\\_en.htm](http://w3.uqo.ca/cyberpsy/en/pres_en.htm), 2006. [2017-08-01].
  - [105] J. Lanier. Homuncular flexibility. <https://www.edge.org/response-detail/11182>, 2006. [2017-05-12].
  - [106] Larousse. Définitions : foliation - dictionnaire français larousse. <http://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/foliation/34397>, 2017. [2017-08-01].
  - [107] S. A. Lear, D. Gasevic, and N. Schuurman. Association of supermarket characteristics with the body mass index of their shoppers. *Nutrition journal*, 12(1) :117, 2013.

- [108] Le journal du net. GMS (grande et moyenne surface) : définition, traduction et synonymes - fiche pratique. <http://www.journaldunet.com/business/pratique/dictionnaire-du-marketing/commercial/19269/gms-grande-et-moyenne-surface-definition-traduction-et-synonymes.html>, 2017. [2017-08-01].
- [109] B. Lenggenhager, M. Mouthon, and O. Blanke. Spatial aspects of bodily self-consciousness. *Consciousness and Cognition*, 18(1) :110–117, mar 2009.
- [110] Les gueules cassées. Le label antigaspi pour dire stop au gaspillage alimentaire. [www.lesgueulescassees.org](http://www.lesgueulescassees.org). [2016-05-25].
- [111] J. A. List and C. A. Gallet. What experimental protocol influence disparities between actual and hypothetical stated values? *Environmental and Resource Economics*, 20(3) :241–254, 2001.
- [112] L’observatoire de la formation des prix et des marges. Comptes du rayon fruits et légumes des gms pour 100 € de ca. <https://observatoire-prixmarges.franceagrimer.fr/resultats/Pages/ResultatsFiliere.aspx?idfiliere=4&sousmenuid=319&type=Graphique>, Mai 2017.
- [113] L’observatoire de la formation des prix et des marges. Poids des rayons frais en étudiés. <https://observatoire-prixmarges.franceagrimer.fr/resultats/Pages/ResultatsFiliere.aspx?idfiliere=4&sousmenuid=104&type=Graphique>, Mai 2017.
- [114] N. Loebnitz, G. Schuitema, and K. G. Grunert. Who buys oddly shaped food and why? Impacts of food shape abnormality and organic labeling on purchase intentions. *Psychology & Marketing*, 32(4) :408–421, apr 2015.
- [115] C. Lopez, P. Halje, and O. Blanke. Body ownership and embodiment : Vestibular and multisensory mechanisms. *Neurophysiologie Clinique/Clinical Neurophysiology*, 38(3) :149–161, jun 2008.
- [116] W. E. Lorensen and H. E. Cline. Marching Cubes : A High Resolution 3D Surface Construction Algorithm. In *Proceedings of the 14th Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques*, SIGGRAPH ’87, pages 163–169, New York, NY, USA, 1987. ACM.

- 
- [117] LSA Commerce et consommation. Les fruits et légumes, nouvelle arme de différenciation des distributeurs - grande distribution et consommation. <https://www.lsa-conso.fr/les-fruits-et-legumes-nouvelle-arme-de-differenciation-des-distributeurs>, 213312, Juin 2015.
  - [118] J. Lu, A. S. Georgiades, A. Glaser, H. Wu, L.-Y. Wei, B. Guo, J. Dorsey, and H. Rushmeier. Context-aware Textures. *ACM Trans. Graph.*, 26(1), Jan. 2007.
  - [119] J.-L. Lugin, M. Landeck, and M. E. Latoschik. Avatar embodiment realism and virtual fitness training. In *2015 IEEE Virtual Reality (VR)*, pages 225–226. IEEE, mar 2015.
  - [120] J.-L. Lugin, J. Latt, and M. E. Latoschik. Avatar anthropomorphism and illusion of body ownership in VR. In *2015 IEEE Virtual Reality (VR)*, pages 229–230. IEEE, mar 2015.
  - [121] J.-L. Lugin, M. Wiedemann, D. Bieberstein, and M. E. Latoschik. Influence of avatar realism on stressful situation in VR. In *2015 IEEE Virtual Reality (VR)*, pages 227–228. IEEE, mar 2015.
  - [122] B. Major, J. M. Hunger, D. P. Bunyan, and C. T. Miller. The ironic effects of weight stigma. *Journal of Experimental Social Psychology*, 51 :74–80, 2013.
  - [123] A. Maselli and M. Slater. The building blocks of the full body ownership illusion. *Frontiers in human neuroscience*, 7(March) :83, 2013.
  - [124] F. Massara, S. S. Liu, and R. D. Melara. Adapting to a retail environment : Modeling consumer-environment interactions. *Journal of Business Research*, 63(7) :673–681, jul 2010.
  - [125] L. McLaren. Socioeconomic status and obesity. *Epidemiologic Reviews*, 29(1) :29, 2007.
  - [126] Mechdyne. L’Oréal Shares Their Beauty Expertise While Slashing Development Costs with Mechdyne VR Solution. <https://www.mechdyne.com/article.aspx?id=362&name=L%270r%C3%A9al+Shares+Their+Beauty+Expertise+While+Slashing+Development+Costs+with+Mechdyne+VR+Solution>, 2017. [2017-08-01].



- 
- [127] M. Meehan, S. Razzaque, B. Insko, M. Whitton, and F. P. Brooks. Review of four studies on the use of physiological reaction as a measure of presence in stressful virtual environments. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 30(3) :239–258, Sep 2005.
  - [128] S. Mérillou and D. Ghazanfarpour. A Survey of Aging and Weathering Phenomena in Computer Graphics. *Comput. Graph.*, 32(2) :159–174, Apr. 2008.
  - [129] S. Mérillou, J. Dischler, and D. Ghazanfarpour. Corrosion : simulating and rendering. In *Graphics Interface*, Ottawa (Canada), 2001.
  - [130] B. A. Myers. A brief history of human computer interaction technology. <https://www.cs.cmu.edu/~amulet/papers/uihistory.tr.html>, Décembre 1996. [2017-08-01].
  - [131] C. Nederkoorn, R. Guerrieri, R. C. Havermans, A. Roefs, and A. Jansen. The interactive effect of hunger and impulsivity on food intake and purchase in a virtual supermarket. *International Journal of Obesity*, 33(8) :905–912, aug 2009.
  - [132] Nielsen. Think Smaller for Big Growth : How to Thrive in the New Retail Landscape, june 2016.
  - [133] H. Nishimura, A. Hirai, T. Ka, T. Kawata, I. Shirakawa, and K. Omura. Object Modeling by distribution function and a method of image generation. *Transactions of the Institute of Electronics and Communication Engineers of Japan*, J68-D(3) :718–725, 1985.
  - [134] J.-M. Normand, E. Giannopoulos, B. Spanlang, and M. Slater. Multisensory Stimulation Can Induce an Illusion of Larger Belly Size in Immersive Virtual Reality. *PLoS ONE*, 6(1) :e16128, jan 2011.
  - [135] J. C. Nunnally. *Psychometric Theory*. McGraw-Hill, 2 edition, 1978.
  - [136] OCDE. International Standards for Fruit and Vegetables. <http://www.oecd.org/tad/code/fruitandvegetables.htm>. [2015-10-10].
  - [137] OCDE. *Guidelines on objective tests to determine quality of fruit and vegetables, dry and dried produce*. OECD Publishing, nov 2009.
  - [138] OCDE. International standards for fruit and vegetables - OCDE. <http://www.oecd-ilibrary.org/agriculture-and-food/>

- international-standards-for-fruit-and-vegetables\_19935668, Juillet 2017. [2017-08-01].
- [139] OCDE. Obesity update 2017. <https://www.oecd.org/els/health-systems/Obesity-Update-2017.pdf>, 2017. [2017].
- [140] W. H. Organization. Body mass index. <http://www.euro.who.int/en/health-topics/disease-prevention/nutrition/a-healthy-lifestyle/body-mass-index-bmi>, 2018. [2018-02-05].
- [141] H. Pan, H. Huo, G. Cui, and S. Chen. Modeling for Deformable Body and Motion Analysis : A Review. *Mathematical Problems in Engineering*, 2013 :1–14, 2013.
- [142] J. Pan, C. Zhao, X. Zhao, A. Hao, and H. Qin. Metaballs-based physical modeling and deformation of organs for virtual surgery. *The Visual Computer*, 31(6-8) :947–957, may 2015.
- [143] E. Pantano and R. Servidio. Modeling innovative points of sales through virtual and immersive technologies. *Journal of Retailing and Consumer Services*, 19(3) :279–286, may 2012.
- [144] S. Papagiannidis, E. Pantano, E. W. See-To, and M. Bourlakis. Modelling the determinants of a simulated experience in a virtual retail store and users’ product purchasing intentions. *Journal of Marketing Management*, 29(13-14) :1462–1492, oct 2013.
- [145] K. Patel, J. N. Bailenson, S. Hack-Jung, R. Diankov, and R. Bajcsy. The effects of fully immersive virtual reality on the learning of physical tasks. In *Proceedings of the 9th Annual International Workshop on Presence, Ohio, USA*, pages 87–94, 2006.
- [146] F. Pavani, C. Spence, and J. Driver. Visual Capture of Touch : Out-of-the-Body Experiences With Rubber Gloves. *Psychological Science*, 11(5) :353–359, sep 2000.
- [147] T. C. Peck, S. Seinfeld, S. M. Aglioti, and M. Slater. Putting yourself in the skin of a black avatar reduces implicit racial bias. *Consciousness and Cognition*, 22(3) :779–787, sep 2013.
- [148] J. Peña, J. T. Hancock, and N. A. Merola. The Priming Effects of Avatars in Virtual Settings. *Communication Research*, 36(6) :838–856, dec 2009.

- 
- [149] J. Peña, M. S. McGlone, and J. Sanchez. The Cowl Makes the Monk : How Avatar Appearance and Role Labels Affect Cognition in Virtual Worlds. *Journal of Virtual Worlds Research*, 5(3) :1–16, 2012.
  - [150] D. Perez-Marcos, M. V. Sanchez-Vives, and M. Slater. Is my hand connected to my body ? The impact of body continuity and arm alignment on the virtual hand illusion. *Cognitive Neurodynamics*, 6(4) :295–305, aug 2012.
  - [151] V. I. Petkova and H. H. Ehrsson. If I Were You : Perceptual Illusion of Body Swapping. *PLoS ONE*, 3(12) :e3832, dec 2008.
  - [152] V. I. Petkova, M. Khoshnevis, and H. H. Ehrsson. The Perspective Matters ! Multisensory Integration in Ego-Centric Reference Frames Determines Full-Body Ownership. *Frontiers in Psychology*, 2, 2011.
  - [153] P. Prusinkiewicz, R. Karwowski, R. Měch, and J. Hanan. L-studio/cpfg : A software system for modeling plants. In *Applications of Graph Transformations with Industrial Relevance*, pages 457–464. Springer Berlin Heidelberg, 2000.
  - [154] P. Prusinkiewicz, L. Mündermann, R. Karwowski, and B. Lane. The use of positional information in the modeling of plants. In *Proceedings of the 28th annual conference on Computer graphics and interactive techniques - SIGGRAPH '01*, pages 289–300, New York, New York, USA, 2001. ACM Press.
  - [155] PSFK. How virtual reality is revolutionizing corporate retail decision-making. <https://www.psfk.com/2017/07/tag-interviewhow-virtual-reality-is-revolutionizing-corporate-retail-decision-making/>. [2016-05-25].
  - [156] R. M. Puhl and C. A. Heuer. The stigma of obesity : A review and update. *Obesity*, 17(5) :941–964, 2009.
  - [157] M. Rao, A. Afshin, G. Singh, and D. Mozaffarian. Do healthier foods and diet patterns cost more than less healthy options ? a systematic review and meta-analysis. *BMJ Open*, 3(12), 2013.
  - [158] M. Rayner, P. Scarborough, and T. Lobstein. The UK Ofcom Nutrient Profiling Model – Defining “healthy” and “unhealthy” foods and drinks for

- TV advertising to children. <https://www.ndph.ox.ac.uk/cpnp/files/about/uk-ofcom-nutrient-profile-model.pdf>, 2009.
- [159] K. Roininen, L. Lähteenmäki, and H. Tuorila. Quantification of Consumer Attitudes to Health and Hedonic Characteristics of Foods. *Appetite*, 33(1) :71 – 88, 1999.
- [160] K. Roininen and H. Tuorila. Health and taste attitudes in the prediction of use frequency and choice between less healthy and more healthy snacks. *Food Quality and Preference*, 10(4-5) :357–365, jul 1999.
- [161] K. Roininen, H. Tuorila, E. Zandstra, C. de Graaf, K. Vehkalahti, K. Stubenitsky, and D. Mela. Differences in health and taste attitudes and reported behaviour among Finnish, Dutch and British consumers : a cross-national validation of the Health and Taste Attitude Scales (HTAS). *Appetite*, 37(1) :33–45, aug 2001.
- [162] RTL. Gros succès des "fruits et légumes moches" après un an d'existence. <http://www.rtl.fr/actu/conso/gros-succes-des-fruits-et-legumes-moches-apres-un-an-d-existence-7778640797>, Juin 2015.
- [163] Sausalito CA. An interview with jaron lanier. <http://www.jaronlanier.com/jaron%20whole%20earth%20review.pdf>, 1986. [2017-08-01].
- [164] M. J. Schuemie, P. van der Straaten, M. Krijn, and C. A. van der Mast. Research on Presence in Virtual Reality : A Survey. *CyberPsychology & Behavior*, 4(2) :183–201, apr 2001.
- [165] T. B. Sheridan. Further Musings on the Psychophysics of Presence. *Presence : Teleoperators & Virtual Environments*, 5(2) :241–246, 1996.
- [166] M. Slater. Towards a digital body : The virtual arm illusion. *Frontiers in Human Neuroscience*, 2(August) :6, 2008.
- [167] M. Slater. Place illusion and plausibility can lead to realistic behaviour in immersive virtual environments. *Philosophical Transactions of the Royal Society B : Biological Sciences*, 364(1535) :3549–3557, dec 2009.
- [168] M. Slater, D.-P. Pertaub, and A. Steed. Public speaking in virtual reality : facing an audience of avatars. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 19(2) :6–9, 1999.

- 
- [169] M. Slater and M. V. Sanchez-Vives. Transcending the Self in Immersive Virtual Reality. *Computer*, 47(7) :24–30, jul 2014.
  - [170] M. Slater, B. Spanlang, M. V. Sanchez-Vives, and O. Blanke. First Person Experience of Body Transfer in Virtual Reality. *PLoS ONE*, 5(5) :e10564, may 2010.
  - [171] M. Slater, M. Usoh, and A. Steed. Depth of presence in virtual environments. *Presence : Teleoperators and Virtual Environments*, 3(2) :130–144, 1994.
  - [172] J. Sobal. Obesity and socioeconomic status : A framework for examining relationships between physical and social variables. *Medical Anthropology*, 13(3) :231–247, 2010. PMID : 1961104.
  - [173] B. Spanlang, J.-M. Normand, D. Borland, K. Kiltner, E. Giannopoulos, A. Pomés, G.-F. Mar, D. Perez-Marcos, J. Arroyo-Palacios, X. N. Muncunill, and M. Slater. How to Build an Embodiment Lab : Achieving Body Representation Illusions in Virtual Reality. *Frontiers in Robotics and AI*, 1(November) :1–22, nov 2014.
  - [174] Statistica. Leading factors in consumer selection of primary supermarkets in the united states in 2013 and 2014 | statistica. <https://www.statista.com/statistics/241139/leading-factors-in-us-consumer-selection-of-supermarkets/>, 2017. [2017-08-01].
  - [175] J. Steuer. Defining Virtual Reality : Dimensions Determining Telepresence. *Journal of Communication*, 42(4) :73–93, dec 1992.
  - [176] R. Sturm and R. An. Obesity and economic environments. *CA : A Cancer Journal for Clinicians*, 64(5) :337–350, 2014.
  - [177] I. E. Sutherland. Sketch pad a man-machine graphical communication system. *Proceedings of the SHARE design automation workshop on - DAC '64*, 3(2) :6.329–6.346, 1964.
  - [178] B. Swinburn, G. Sacks, and E. Ravussin. Increased food energy supply is more than sufficient to explain the US epidemic of obesity. *American Journal of Clinical Nutrition*, 90(6) :1453–1456, dec 2009.
  - [179] M. Tsakiris, G. Prabhu, and P. Haggard. Having a body versus moving your body : How agency structures body-ownership. *Consciousness and Cognition*, 15(2) :423–432, jun 2006.

- 
- [180] J. Tyrrell, S. E. Jones, R. Beaumont, C. M. Astley, R. Lovell, H. Yaghootkar, M. Tuke, K. S. Ruth, R. M. Freathy, J. N. Hirschhorn, A. R. Wood, A. Murray, M. N. Weedon, and T. M. Frayling. Height, body mass index, and socioeconomic status : mendelian randomisation study in UK biobank. *BMJ*, page i582, mar 2016.
  - [181] UNECE. Fresh fruit and vegetables - standards - trade - unece. <http://www.unece.org/trade/agr/standard/fresh/ffv-standardse.html>, 2017. [2017-08-01].
  - [182] J. van Baren and W. IJsselsteijn. Deliverable 5 Measuring Presence : A Guide to Current Measurement Approaches. *Measurement*, 0, 2004.
  - [183] E. van Herpen, R. Pieters, and M. Zeelenberg. When demand accelerates demand : Trailing the bandwagon. *Journal of Consumer Psychology*, 19(3) :302–312, jul 2009.
  - [184] E. van Herpen, E. van den Broek, H. C. M. van Trijp, and T. Yu. Can a virtual supermarket bring realism into the lab ? Comparing shopping behavior using virtual and pictorial store representations to behavior in a physical store. *Appetite*, 107 :196–207, 2016.
  - [185] E. van Herpen, T. Yu, E. van den Broek, and H. van Trijp. Using a virtual grocery store to simulate shopping behaviour. In *Proc. Measuring Behavior*, 2014.
  - [186] C. Velardo and J.-L. Dugelay. Weight estimation from visual body appearance. In *2010 Fourth IEEE International Conference on Biometrics : Theory, Applications and Systems (BTAS)*, pages 1–6. IEEE, sep 2010.
  - [187] Venture Beat. Superdata : VR’s breakout 2016 saw 6.3 million headsets shipped. <https://venturebeat.com/2017/02/04/superdata-vrs-breakout-2016-saw-6-3-million-headsets-shipped/>, février 2017. [2017-08-01].
  - [188] M. C. Verain, S. J. Sijtsma, and G. Antonides. Consumer segmentation based on food-category attribute importance : The relation with healthiness and sustainability perceptions. *Food Quality and Preference*, 48 :99–106, mar 2016.
  - [189] Wainwright, Stephen A. Axis and Circumference. The cylindrical shape of plants and animals. Harvard University Press. 132 pp. *Journal of Evolutionary Biology*, 2(2) :156–156, 1989.

- 
- [190] L. Wang, Y. Yu, K. Zhou, and B. Guo. Multiscale vector volumes. *ACM Transactions on Graphics*, 30(6) :1, dec 2011.
  - [191] W. E. Waterlander, Y. Jiang, I. H. Steenhuis, and C. Ni Mhurchu. Using a 3D virtual supermarket to measure food purchase behavior : A validation study. *Journal of Medical Internet Research*, 17(4) :e107, Apr 2015.
  - [192] W. E. Waterlander, C. Ni Mhurchu, and I. H. Steenhuis. Effects of a price increase on purchases of sugar sweetened beverages. Results from a randomized controlled trial. *Appetite*, 78 :32–39, jul 2014.
  - [193] W. E. Waterlander, M. Scarpa, D. Lentz, and I. H. Steenhuis. The virtual supermarket : An innovative research tool to study consumer food purchasing behaviour. *BMC Public Health*, 11(1) :1–10, jul 2011.
  - [194] W. E. Waterlander, I. H. Steenhuis, M. R. de Boer, A. J. Schuit, and J. C. Seidell. The effects of a 25% discount on fruits and vegetables : results of a randomized trial in a three-dimensional web-based supermarket. *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*, 9(1) :11, feb 2012.
  - [195] W. E. Waterlander, I. H. Steenhuis, M. R. de Boer, A. J. Schuit, and J. C. Seidell. Effects of different discount levels on healthy products coupled with a healthy choice label, special offer label or both : results from a web-based supermarket experiment. *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*, 10(1) :59, may 2013.
  - [196] Wikipedia. List of average human height worlwide. [https://en.wikipedia.org/wiki/List\\_of\\_average\\_human\\_height\\_worldwide](https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_average_human_height_worldwide). [2017-02-20].
  - [197] B. G. Witmer, C. J. Jerome, and M. J. Singer. The factor structure of the presence questionnaire. *Presence : Teleoperators and Virtual Environments*, 14(3) :298–312, 2005.
  - [198] B. G. Witmer and M. J. Singer. Measuring Presence in Virtual Environments : A Presence Questionnaire. *Presence : Teleoperators and Virtual Environments*, 7(3) :225–240, jun 1998.
  - [199] World Health Organization. BMI Classification. [http://apps.who.int/bmi/index.jsp?introPage=intro\\_3.html](http://apps.who.int/bmi/index.jsp?introPage=intro_3.html). [2017-02-20].

- [200] World Health Organization. Data and statistics. <http://www.euro.who.int/en/health-topics/noncommunicable-diseases/obesity/data-and-statistics>, 2017. [2017-12-06].
- [201] J. Wu, H. Won Ju, J. Kim, C. Damminga, H.-Y. Kim, and K. K. Johnson. Fashion product display. *International Journal of Retail & Distribution Management*, 41(10) :765–789, 2013.
- [202] N. Yee and J. Bailenson. The Proteus Effect : The Effect of Transformed Self-Representation on Behavior. *Human Communication Research*, 33(3) :271–290, Juillet 2007.
- [203] S.-C. Yoo, J. F. Peña, and M. E. Drumwright. Virtual shopping and unconscious persuasion : The priming effects of avatar age and consumers’ age discrimination on purchasing and prosocial behaviors. *Computers in Human Behavior*, 48 :62–71, jul 2015.
- [204] Y. Yuan and A. Steed. Is the rubber hand illusion induced by immersive virtual reality ? In *2010 IEEE Virtual Reality Conference (VR)*, pages 95–102. IEEE, mar 2010.
- [205] V. Zeithaml, L. Berry, and A. Parasuraman. The behavioral consequences of service quality. *Journal of Marketing*, 60(2) :31–46, 4 1996.



# Annexe : Publications

Au cours de cette thèse, les travaux suivants ont été publiés :

- A. Verhulst, J.-M. Normand, C. Lombart, G. Moreau. “A Study on the Use of an Immersive Virtual Reality Store to investigate Consumer Perceptions and Purchase Behavior toward Non-standard Fruits and Vegetables”. In Proceedings of the IEEE Virtual Reality 2017 Conference (VR 2017), Los Angeles, USA, March 18-22, 2017.
- A. Verhulst, J.-M. Normand, G. Moreau. “Generation of variability in shape, aspect and time of 3D Fruits and Vegetables”. In VSMM 2017 - 23rd IEEE International Conference on Virtual Systems and Multimedia, Oct 2017, Dublin, Ireland. pp.1-8.
- A. Transon, A. Verhulst, J.-M. Normand, G. Moreau, M. Sugimoto. “Evaluation of Facial Expressions as an Interaction Mechanism and their Impact on Affect, Workload and Usability in an AR game”. In VSMM 2017 - 23rd IEEE International Conference on Virtual Systems and Multimedia, Oct 2017, Dublin, Ireland. pp.1-8.
- A. Verhulst, J.-M. Normand, G. Moreau. “Visually-Realistic Appearance Changes of Fruits and Vegetables using Particle Systems”. In Proceedings of Computer Graphics International (CGI 2015), Strasbourg, France, June 24-26, 2015.

Les travaux suivants sont ceux en cours de soumission :

- A. Verhulst, J.-M. Normand, C. Lombart, G. Moreau, M. Sugimoto. “Influence of being embodied an obese virtual body on shopping behavior and product perception in VR”. *Frontiers in Robotics and AI*, soumission en cours.
- A. Verhulst, J.-M. Normand, C. Lombart, G. Moreau, B. Labbé-Pinlon. “Would you buy non-standard fruits and vegetables in an immersive virtual reality grocery store?”, *Journal of Retailing and Consumer Services*, soumission en cours.
- C. Lombart, B. Labbé-Pinlon, A. Verhulst, J.-M. Normand, G. Moreau. “Quand

la Réalité Virtuelle Immersive s'invite au rayon fruits et légumes... Réaction des consommateurs face à des produits difformes". Revue de l'Organisation Responsable, soumission en cours.