BIBLIOTHÈQUE
CÉGEP DE L'ABITIBI-TÉMISCAMINGUE
UNIVERSITÉ DU QUÉBEC EN ABITIBI-TÉMISCAMINGUE

Mise en garde

La bibliothèque du Cégep de l'Abitibi-Témiscamingue et de l'Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue (UQAT) a obtenu l'autorisation de l'auteur de ce document afin de diffuser, dans un but non lucratif, une copie de son œuvre dans Depositum, site d'archives numériques, gratuit et accessible à tous. L'auteur conserve néanmoins ses droits de propriété intellectuelle, dont son droit d'auteur, sur cette œuvre.

Warning

The library of the Cégep de l'Abitibi-Témiscamingue and the Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue (UQAT) obtained the permission of the author to use a copy of this document for nonprofit purposes in order to put it in the open archives Depositum, which is free and accessible to all. The author retains ownership of the copyright on this document.

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC EN ABITIBI-TÉMISCAMINGUE

LES PILIERS PERCEPTUELS DU CINÉMA D'ANIMATION

THÈSE

PRÉSENTÉE

COMME EXIGENCE PARTIELLE

DU DOCTORAT SUR MESURE EN ANIMATION ET PERCEPTION

PAR

PHILIPPE VAUCHER

SEPTEMBRE 2022

REMERCIEMENTS

Je tiens tout d'abord à remercier mon superviseur, Louis-Paul Willis qui a été mon guide et compagnon de route tout au long d'un voyage ardu, mais gratifiant. Ses précieux conseils ont enrichi mon travail et c'est en grande partie grâce à son soutien inébranlable, à sa curiosité et à son enthousiasme, que j'ai pu finir ce projet sans perdre ma passion pour mon sujet.

Merci à mes collègues et amis à l'Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue qui m'ont encouragé et donné l'espace pour pouvoir penser, créer et rédiger. Je tiens à remercier Simon Dor en particulier qui était toujours prêt à répondre aux questions que je lui posais depuis son cadre de porte. Merci à Amélie Routhier Bergeron qui a lu et relu ma thèse avec ses yeux de lynx et à Hugo Asselin pour ses conseils discrets et holistiques.

Je remercie Kate et Charlotte. Je n'aurais jamais terminé ce travail sans leur amour, leur soutien et leur patience.

Je remercie ma mère, mon père et mon frère qui m'ont encouragé depuis le début.

Finalement, je tiens à remercier mes étudiants qui, en posant des questions auxquelles je n'avais pas de réponse, m'ont incité à élucider les mystères du plus bel art au monde.

DÉDICACE

À Kate et à Charlotte, celles qui animent ma vie

TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS ii

DÉDICACE iii

TABLE DES MATIÈRES iv

LISTE DES FIGURES viii

LISTE DES TABLEAUX xii

RÉSUMÉ xiii

ABSTRACT xiv

INTRODUCTION 1

CHAPITRE 1 Piliers théoriques de l'animation 11

1.1. Qu'est-ce qu'une illusion ? 13

1.2. L'âge des illusions : la genèse de la psychologie et du cinéma au XIXe siècle 16

1.2.1. Au carrefour des arts et de la science 22

1.3. La perspective cognitive et la psychocinématique 25

1.4. Les sensations directes et la perception indirecte 27

1.5. Le dualisme de René Descartes, le matérialisme et la psychophysique 29

1.6. Perspective directe et écologique 31

1.7. La perspective computationnelle 34

1.8. Métaphores, simplicité et complexité 37

1.9. Définition de l'animation – art, technique et procédé 41

1.10. Entre la mimèsis et l'abstraction 44

1.11. L'animation selon McLaren 46

1.12. Perspective évolutionniste 48

1.13. Le mouvement animé : une question de survie 49

1.14. L'origine des 12 principes d'animation 51

1.15. Catégorisation des principes d'animation 54

1.16. Les 12 principes d'animation 56

CHAPITRE 2 Vision et illusion 63

2.1. Fiat Lux – La lumière 65

2.2. L'œil, la vision et les étapes antérieures de la perception....66
2.2.1. La rétine....69
2.2.2. Les cônes et les bâtonnets....71
2.2.3. La vision fovéale et périphérique....74
2.2.4. Les systèmes parvocellulaires et magnocellulaires : vers la forme et le mouvement....77
2.3. Les composantes élémentaires de la perception....78
2.3.1. Les contours et la fréquence spatiale....79
2.4. La vision précoce et les arts....81
2.4.1. Vers la forme et le mouvement....87
2.5. Vision modulaire....89
2.5.1. Troubles visuels et la nature modulaire de la perception....90
2.5.2. Les voies ventrales et dorsales : forme et mouvement....95
2.5.3. Le mouvement avant la forme....100
2.6. La Gestalt....103
CHAPITRE 3 Le mythe de la persistance visuelle....105
3.1 L'histoire de la persistance rétinienne....106
3.2 Les images rémanentes....110
3.2.1 Le thaumatrope....113
3.2.2 L'illusion de la chute d'eau et les mouvements rémanents....114
3.2.3 Les limites des métaphores visuelles....117
3.2.4 Les traînées lumineuses....119
3.3 Joseph Plateau : le prophète aveugle du cinéma d'animation....120
3.3.1 Le mythe de la persistance rétinienne au XXe siècle dans le monde anglo-saxon....124
3.3.2 La persistance rétinienne en animation....126
3.4 Le problème de la projection et du papillotement....129
3.4.1 L'obturateur et la loi de Talbot-Plateau....132
3.4.2 Le seuil de fusion du papillotement....134
3.4.3 Cadence et fréquence....135
3.5 La persistance des images rémanentes....139
CHAPITRE 4 La science du mouvement animé....141
4.1 Exner, la mémoire et le mouvement apparent....141
4.2 Wertheimer : le phénomène phi et le mouvement bêta....145
4.2.1 La confusion entre le Φ et le β....150
4.3 Les mouvements apparents de longue portée et de courte portée....152
4.4 Le mouvement et la vitesse....155
4.5 La perception du mouvement et le modèle de Reichardt....156
4.5.1 Les problèmes de la correspondance et de l'ouverture....160

4.6 Les axiomes du mouvement apparent....163
4.6.1 La tolérance catégorique....164
4.6.2 Les règles de la réalité et le 1er axiome du mouvement apparent....166
4.6.3 Le regroupement et le 2e axiome du mouvement apparent....169
4.6.4 La permanence et le mouvement apparent....173
4.6.5 Règles prioritaires....176
4.7 L'ISI au cinéma....177
4.8 Les limites des sciences visuelles....181
CHAPITRE 5 L'illusion du mouvement animé : principes fondamentaux....183
5.1 La vallée de l'ambiguïté apparente....186
5.1.1 Combler le fossé de la vallée de l'ambiguïté apparente....190
5.2 La cadence : histoire....191
5.2.1 La cadence....196
5.2.2 Le cycle, l'animation pleine et l'animation limitée....201
5.2.3 Cadence et techniques d'animation....203
5.2.4 Une courte histoire des HFR....208
5.2.5 Les HFR aujourd'hui....209
5.3 Le Tempo....214
5.4 La compression et l'étirement....218
5.4.1 La malléabilité de la forme animée....218
5.4.2 Combler le fossé II....220
5.4.3 Les traînées lumineuses et les lignes de vitesse....221
5.4.4 Les stries....222
5.4.5 La déformation, la compression et l'étirement....224
5.4.6 Informations sur la masse....225
5.5 Le mouvement induit....228
CHAPITRE 6 L'animé et l'inanimé....231
6.1 Les origines de la distinction animé-inanimé....232
6.2 Le mouvement animé et la causalité....236
6.3 Le mouvement biologique et les trajectoires arquées....240
6.4 Les contraintes du mouvement animé....243
6.5 La forme animée....245
6.6 La psychologie de l'animé : panpsychisme, animisme et anthropomorphisme....250
6.6.1 Explications de l'anthropomorphisme....253
6.6.2 La rondeur et simplicité universelle de la forme animée....255
6.6.3 L'anthropomorphisme de notre réflexion : le visage et les yeux....258
6.7 L'exagération hyperréelle de la forme animée....261
6.7.1 La caricature, le *cartoon* et l'animation....262
6.7.2 L'exagération, le *peak shift* et les stimuli supranormaux....266

6.7.3 Néoténie 268
6.7.4 La beauté de la symétrie et de la médiane 271
6.8 La vallée de l'étrangeté 273
6.8.1 Les origines étranges de l'étrangeté 274
6.8.2 L'ambiguïté de l'étrangeté 275
CHAPITRE 7 Le monde animé 283
7.1 Le degré de l'exagération 284
7.2 Le *staging* 291
7.2.1 L'attention 292
7.2.2 Les saccades 293
7.2.3 Les saccades et les trajectoires arquées 294
7.2.4 Les saccades : moteur de la perception 295
7.2.5 Le *staging* de l'attention sélective 296
7.3 La physique et l'animation 300
7.3.1 *Follow Through and Overlapping Action* 303
7.3.2 L'anticipation et l'action secondaire 303
7.3.3 La gravité : erreurs et trajectoires 307
7.3.4 Les représentations mentales et la physique naïve 314
7.3.5 Les modèles bayésiens et heuristiques 317
7.4 La cape de la crédibilité 320
7.5 L'*Umwelt* animé 324
CONCLUSION 333
RÉFÉRENCES 343
ANNEXE A Liste des vidéos 397

LISTE DES FIGURES

Figure 1.1 : Illusion de Necker 14
Figure 1.2 : Cube de Necker 14
Figure 1.3 : Cube de Beaunis 14
Figure 1.4 : L'illusion vase-visage de Ruben 14
Figure 1.5: Illusion d'optique - réfraction 14
Figure 1.6 : Des Scopes et des tropes 19
Figure 1.7 : Réseau optique (optic array) 31
Figure 1.8 : Flux optique et le FoE 32
Figure 1.9 : Le continuum PVR – animation 45
Figure 1.10 : Banc-titre d'animation 52
Figure 1.11 : Les trois facettes des principes d'animation 55
Figure 2.1 : Rayons X Superman 63
Figure 2.2 : Les types de radiation électromagnétique 65
Figure 2.3 : L'œil - vue frontale 66
Figure 2.4 : L'anatomie de l'œil (coupe verticale) 67
Figure 2.5 : Informations visuelles inversées sur la rétine 68
Figure 2.6 : Trois couches de la rétine 69
Figure 2.7 : Diversité des cellules rétiniennes 70
Figure 2.8 : La réflexion de la lumière et la perception de la couleur 72
Figure 2.9 : Champ visuel et vision fovéale 74
Figure 2.10 : Approximation de la vision 76
Figure 2.11 : Distribution des fréquences spatiales et l'acuité visuelle 81
Figure 2.12 : Silhouette 85
Figure 2.13 : Papille optique 87
Figure 2.14 : La division hémisphérique des signaux visuels 88
Figure 2.15 : Photo stroboscopique à expositions multiples 92
Figure 2.16 : Gull in Flight 92
Figure 2.17 : L'hypothèse neurocomportementale des deux voies 96
Figure 2.18 : Enigma Illusion 98
Figure 2.19 : Repères mimétiques et conventions graphiques pour représenter le mouvement 99
Figure 2.20 : Mouvement avant la forme 101

Figure 2.21 : Gestalt 103
Figure 3.1 : Démonstration d'une image rémanente positive 111
Figure 3.2 : Pas de deux 112
Figure 3.3 : Thaumatrope 113
Figure 3.4 : Spirale de Plateau 114
Figure 3.5 : Cheval blanc monté 117
Figure 3.6 : Man Walking 117
Figure 3.7 : Light painting 120
Figure 3.8 : Phénakistiscope 122
Figure 3.9 : La roue de Roget 125
Figure 3.10 : Le rôle de l'obturateur 132
Figure 4.1 : Modèle mnésique du mouvement 143
Figure 4.2 : Schumann's Wheel Tachistoscope 146
Figure 4.3 : Expérience de Wertheimer 148
Figure 4.4 : Le modèle Hassenstein-Reichardt EMD 158
Figure 4.5 : Le brigadier 159
Figure 4.6 : La correspondance 160
Figure 4.7 : le problème de la correspondance 161
Figure 4.8 : Expérience n° 1– Un percept à la fois 166
Figure 4.9 : Expérience n° 2– Le parcours le plus court 167
Figure 4.10 : Trajectoire arquée et déplacement linéaire 169
Figure 4.11 : Contours et fréquences spatiales basses 169
Figure 4.12 : Expérience n° 3–Mouvement et fréquence spatiale basse 170
Figure 4.13 : Texture, nature et mouvement 171
Figure 4.14 : Qui se ressemble bouge ensemble 172
Figure 4.15 : Occlusion et mouvement apparent 174
Figure 4.16 : Expérience n° 3– La permanence 175
Figure 4.17 : Expérience n° 4 sur l'occlusion 176
Figure 4.18 : ISI et le cinéma à 24 i/s 179
Figure 5.1 : Les cinq paliers perceptuels de l'animation 185
Figure 5.2 : La distance dans trois types de mouvement apparent 187
Figure 5.3 : Vallée de l'ambiguïté apparente 188
Figure 5.4 : Tempo et distance 215

Figure 5.5 : Les composantes du tempo 217
Figure 5.6 : La compression et l'étirement 220
Figure 5.7 : L'étirement et le mouvement apparent de courte portée 220
Figure 5.8 : Lignes de vitesse et mouvement apparent 221
Figure 5.9 : Estompage 223
Figure 5.10 : Déformation arquée 224
Figure 5.11 : Rubber pencil illusion 224
Figure 5.12 : Mouvement induit – train 228
Figure 5.13 : L'illusion de la lune 229
Figure 5.14 : Le mouvement induit et le cycle de marche 229
Figure 6.1 : Les mouvements inanimés et animés 232
Figure 6.2 : Effets de causalité de Michotte 237
Figure 6.3 : Heider et Simmel 238
Figure 6.4 : Méthode employée pour étudier le mouvement biologique 240
Figure 6.5 : Les arcs du mouvement biologique 242
Figure 6.6 : Le mouvement apparent d'un objet et le chemin le plus court 243
Figure 6.7 : Mouvement apparent à des SOA lents 244
Figure 6.8 : Mouvement apparent à des SOA rapides 244
Figure 6.9 : Contrainte de la solidité 244
Figure 6.10 : Bris de la contrainte des articulations 248
Figure 6.11 : Structures naturelles et rectilignes 256
Figure 6.12 : Visages schématiques 259
Figure 6.13 : Le pouvoir des yeux 260
Figure 6.14 : Rapidité de l'identification selon le style graphique 265
Figure 6.15 : Peak shift et le dimorphisme sexuel 266
Figure 6.16 : Différences physiologiques - mâle/femelle 268
Figure 6.17 : Néoténie 270
Figure 6.18 : La vallée de l'étrangeté 273
Figure 6.19 : Théorie de la cohérence cinématographique 281
Figure 7.1 : Pyramide de l'exagération (simple) 285
Figure 7.2 : Molette de l'exagération 286
Figure 7.3 : Pyramide de l'exagération 288
Figure 7.4 : Exagération dans Alice in Wonderland (1951) 290

Figure 7.5 : Saccades 294
Figure 7.6 : Saillance de la différence 298
Figure 7.7 : L'effet de l'inversion faciale 308
Figure 7.8 : Effet de la lumière sur la perception volumétrique 309
Figure 7.9 : Projectile 310
Figure 7.10 : Gravité constante 311
Figure 7.11 : Le problème de l'avion 313
Figure 7.12 : Le problème du pendule 314
Figure 7.13 : Le problème du tube courbé 314
Figure 7.14 : Le problème de Thor 315
Figure 7.15 : Théorie médiévale de l'impetus 315
Figure 7.16 : Trajectoire naïve 319
Figure 7.17 : Acuité du système perceptuel 320
Figure 7.18 : La cape de la crédibilité 321
Figure 7.19 : Aquaman 322
Figure 7.20 : L'Umwelt animé 331
Figure 7.21 : Les crédos et les interdits de la crédibilité animée 332

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1.1 : Application des 12 principes d'animation 56
Tableau 3.1 : Cadence et fréquence..... 136
Tableau 3.2 : Obturateur et fréquence 138
Tableau 4.1 : ISI et projection d'un film à 24 i/s..... 178
Tableau 5.1 : Effets de la cadence sur le mouvement apparent..... 186
Tableau 5.2 : Effets de vitesse produits par la cadence 194
Tableau 5.3 : La cadence des supports technologiques..... 197
Tableau 5.4 : Les composantes du mouvement animé et thèmes abordés 217
Tableau 6.1 : La distinction animé-inanimé 235
Tableau 7.1 : Les piliers de l'Umwelt animé..... 328

RÉSUMÉ

Toute discipline devrait reposer sur des bases théoriques solides ; mais ce n'est pas nécessairement le cas des études en animation. Au mieux, la pratique est encadrée par douze « principes » d'animation codifiés dans *The Illusion of Life* (1985) par deux animateurs de Disney, Ollie Johnson et Frank Thomas. Parmi ces principes, certains s'appliquent au cinéma en général ou sont techniques ; alors que d'autres visent l'essentiel artistique de l'animation : comment produire des mouvements fluides, expressifs et crédibles. Les principes sont utilisés parce qu'ils fonctionnent ; mais personne du domaine n'a tenté de déterminer les mécanismes perceptifs qui expliqueraient pourquoi ils fonctionnent. Pire, la seule « théorie » généralement acceptée par le milieu prétend toujours que la « persistance rétinienne » explique la perception de mouvement au cinéma; et cette théorie a été démontrée fausse, il y a plus de quarante ans. Le premier objectif de cette thèse est d'identifier et de décrire les phénomènes perceptifs sur lesquels l'art de l'animation repose ; et, deuxièmement, de structurer ces connaissances avec de nouveaux concepts qui seront utiles sur le plan pratique, théorique et pédagogique.

Cette thèse se veut transdisciplinaire et mobilise un ensemble important de connaissances hétéroclites, traitant à la fois de la vision et du cinéma. Le premier chapitre donne un aperçu des grandes théories psychologiques et cinématographiques auxquelles nous nous référerons. Ensuite, les concepts psychophysiques et anatomiques élémentaires de la vision seront décrits au chapitre 2. Le chapitre 3 vise à démystifier la « théorie » de la persistance visuelle. Nous rappelons que l'œil et la rétine se bornent à transmettre une suite d'images au cortex qui utilise une série de procédés pour percevoir le mouvement. Au chapitre 4, nous étudierons deux types de mouvements animés (mouvement apparent de longue portée et de courte portée) et présenterons les axiomes qui les gouvernent. Le chapitre 5 amorce la deuxième partie de la thèse où nous faisons le lien entre les mécanismes de la vision et les principes d'animation de Disney. Nous présentons un modèle de notre invention qui distingue une hiérarchie de cinq paliers perceptuels en animation : 1) le mouvement apparent (décrit précédemment) ; 2) le mouvement inanimé ; 3) le mouvement animé ; 4) le mouvement émouvant (c'est-à-dire les émotions et performances) ; et 5) le monde (Umwelt) animé. Ensuite, nous examinons quelques autres « principes » qui visent à maximiser la qualité visuelle d'une animation, en particulier : la cadence, le tempo, et le principe de *l'étirement et de la compression*. Poursuivant dans cette voie, le chapitre 6 explore la question : « à quel degré une animation doit-elle être réaliste pour fonctionner ? ». D'abord, nous explorerons le rôle de l'exagération (principe n^{o} 10), typique des cartoons ; puis les différences fondamentales entre un mouvement « animé » effectué par une entité vivante, et les mouvements passifs associés aux objets « inanimés ». Il se trouve qu'une expérience positive repose sur une harmonisation perceptive des différents éléments d'un film en portant une attention particulière à l'apparence des yeux des personnages, car des divergences de style peuvent provoquer le phénomène de la « vallée de l'étrangeté ». Enfin, au dernier chapitre, nous proposons quatre nouveaux concepts pratiques pour guider les animateurs à créer des animations et des univers expressifs et convaincants. Ces derniers sont : 1) la molette de l'exagération, 2) la pyramide de l'exagération, 3) la cape de la crédibilité et 4) l'Umwelt animé.

Nous terminons la thèse en suggérant qu'il n'est plus suffisant pour l'animation de suivre des principes pratiques sans vraiment les comprendre. Il est grand temps que l'animation, à la fois comme art et comme champ d'études, s'intéresse aux principes et illusions qui l'animent.

Mots clés : Mouvement apparent, persistance visuelle, perception, cognition, 12 principes d'animation, la distinction animé-inanimé, caricature, hyperréel, vallée de l'étrangeté, physique naïve, Umwelt.

ABSTRACT

Any discipline should be based on solid theoretical foundations; this is not necessarily the case for animation studies. At best, the practice is framed by twelve animation "principles" codified in The Illusion of Life (1985) by two Disney animators, Ollie Johnson and Frank Thomas. Among these principles, some are technical advice, some apply to cinema in general, while others address animation's essential goal: how to produce fluid, expressive and believable movements. The principles are used because they work, but no one in the field has tried to determine the perceptual mechanisms that would explain why they work. Worse, the only "theory" generally accepted in the field still claims that "retinal persistence" is responsible for the perception of motion in a film. This theory was proven wrong more than forty years ago. The first objective of this thesis is to identify and describe the perceptual phenomena on which the art of animation is based, and second, to structure this knowledge with new concepts that will be useful on a practical, theoretical and pedagogical level.

This transdisciplinary thesis mobilizes a substantial body of heterogeneous knowledge, dealing with both vision and cinema. The first chapter overviews the significant psychological and cinematographic theories to which we will refer. Then, the elementary psychophysical and anatomical concepts of vision will be described in chapter 2. Chapter 3 aims to demystify the "theory" of persistence of vision. We demonstrate that the eye and the retina limit themselves to transmitting a series of images to the cortex, which uses a series of perceptual processes to perceive motion. In chapter 4, we will study two types of animated motion (long-range and short-range apparent motion) and present the axioms that govern them. Chapter 5 begins the second part of the thesis, where we link the mechanisms of vision and Disney's animation principles. We present a model of our invention which distinguishes a hierarchy of five perceptual levels in animation: 1) apparent movement (described previously); 2) inanimate movement; 3) animated movement; 4) emotion (which includes performance), and 5) the animated Umwelt. Next, we look at a few other "principles" that maximize animation's visual quality, specifically: frame rate, tempo, and the principle of stretching and compressing. Continuing in this direction, chapter 6 asks, "How realistic must an animation be in order to work?" First, we will explore the role of exaggeration (principle #10), typical of cartoons, then the fundamental differences between an "animated" movement performed by a living entity and the passive movements associated with "inanimate" objects. It turns out that a positive experience relies on a perceptual harmonization of the different elements of a film, paying particular attention to the appearance of the character's eyes since differences in style may cause a phenomenon called the "uncanny valley." Finally, in the last chapter, we offer four new practical concepts to guide animators in creating expressive and compelling animations and worlds. These are 1) the wheel of exaggeration, 2) the pyramid of exaggeration, 3) the cape of credibility, and 4) the animated Umwelt.

We conclude the work by suggesting that it is no longer enough for academics and animators to follow practical principles without understanding them. It is high time that animation, both as an art and a field of study, takes an interest in the principles and illusions that animate it.

Keywords: Apparent motion, persistence of vision, perception, cognition, 12 principles of animation, the illusion of life, Animate-inanimate distinction, hyperreal, caricature, Uncanny Valley, naïve physics, Umwelt.

INTRODUCTION

> Enfin, il s'est donc absenté, le vieux maître sorcier ! Et maintenant c'est à moi aussi de commander à ses Esprits ; j'ai observé ses paroles et ses œuvres, j'ai retenu sa formule, et, avec de la force d'esprit, moi aussi je ferai des miracles.
>
> *L'apprenti sorcier* de von Goethe (1843, p. 73)

Ainsi commence le poème de Johann Wolfgang Goethe (1749-1832) qui a inspiré Walt Disney à produire *The Sorcerer's Apprentice* (Algar, 1940). Dans ce court-métrage, qui figure dans *Fantasia* (Armstrong, S. *et al.*, 1940), Mickey Mouse incarne un apprenti sorcier qui, profitant de l'absence de son maître, utilise les pouvoirs magiques de ce dernier pour donner vie à des balais. Après leur avoir ordonné d'accomplir ses tâches ménagères, il s'endort et rêve qu'il est un grand magicien capable de manipuler les forces de la nature. Ce rêve tourne toutefois au cauchemar lorsque Mickey est tiré de son sommeil et constate que ses balais ont inondé le laboratoire. Il tente désespérément de reprendre le contrôle de ses créations, mais ne comprenant pas les forces invisibles qu'il a libérées, ses efforts sont vains. Sur le point de se noyer dans un maelstrom, il est sauvé juste à temps par son maître qui dissipe les eaux, tel Moïse séparant la mer Rouge. Au premier degré, la morale du film peut être interprétée comme un avertissement de l'impétuosité et l'insouciance de la jeunesse ainsi qu'une mise en garde quant au danger lié à l'emploi de forces que nous ne comprenons pas. Au second degré, certains chercheurs croient que le magicien, dont le nom « Yen Sid » est « Disney » écrit à l'envers, représente Walt Disney lui-même et que Mickey incarne l'artiste qui, comme son patron, tente de créer un univers animé (Labbie, 2012, p. 99-100). Ces deux interprétations plausibles découlent, selon nous, de l'idée selon laquelle l'animation est un art magique qui déploie des forces invisibles et mystérieuses. Bien que cette association soit renforcée par la thématique fantastique de la plupart des films animés classiques (p. ex. *Snow White and the Seven Dwarfs* [Hand, 1938], *Dumbo* [Sharpsteen, 1941] et *Pinocchio* [Disney, Sharpsteen, Luske et al., 1940]), elle tire selon nous son origine du sentiment d'émerveillement spontané que nous ressentons lorsque nous voyons quelque chose prendre vie à l'écran (p. ex. un dessin, une marionnette, des morceaux de papier découpés, etc.). Le grand animateur canado-écossais Norman McLaren (1914-1987) réussit à décrire la qualité magique de l'animation lorsque, cité par Hoffer (1981, p. 5), il déclare que :

> Animation is not the art of *drawings*, but the art of *movements* that are drawn. What happens between each frame is much more important than what exists on each frame. Animation is therefore the art of manipulating the invisible interstices that lie between the frames.

La plupart des animateurs se contentent de citer cette définition quasi mystique de l'animation, mais que se passe-t-il exactement entre les photogrammes d'un film ? McLaren et Grant Munro se sont attaqués à cette question et ont exposé les rudiments du mouvement animé dans la série de cinq courts-métrages *Le Mouvement image par image*, produits à l'Office national du film du Canada. Décrite en détail au sein du chapitre 5, leur analyse est méthodique et perspicace, mais elle n'explique pas le fonctionnement de l'animation au niveau perceptuel. Pour des raisons financières et artistiques qui seront décrites au prochain chapitre, Disney souhaite aussi comprendre les principes perceptuels au cœur de l'animation, car ces derniers lui permettront de recréer une illusion crédible de la vie. Cité par Hahn et Miller-Zarneke (2015, p. 66), Disney, croyant qu'il faut comprendre les phénomènes réels pour les représenter à l'écran, déclare : « I definitely feel that we cannot do the fantastic things, based on the real, unless we first know the real […] ». Pour atteindre cet objectif, il crée un environnement de travail où ses animateurs et artistes peuvent apprendre, expérimenter et pousser les limites du médium tout en créant des films. L'aboutissement des efforts de Disney est présenté dans le livre *The Illusion of Life* (Thomas et Johnston, 1981) sous la forme de 12 principes qui aident l'animatrice à représenter des mouvements animé qui sont fluides et naturels, à mettre en scène des personnages captivants et expressifs et à produire des films intéressants et intelligibles. Puisque ces 12 principes fonctionnent en animation 2D et s'appliquent aussi à l'animation 3D (Lasseter, 1987), animateurs et enseignants les emploient sans se demander comment ils fonctionnent au niveau de la perception. Le premier principe, par exemple, stipule qu'il faut étirer et compresser un objet animé pour que son mouvement semble fluide, mais pourquoi devons-nous déformer une barre de métal alors que celle-ci ne se plie pas dans la réalité ? Au-delà des 12 principes, une question encore plus fondamentale qui s'applique autant à l'animation qu'au cinéma en prises de vue réelles se pose : comment se fait-il que nous percevions du mouvement lorsque nous regardons un film qui, à la base, est constitué d'une série d'images statiques ? Pourquoi donc ces images fixes provoquent-elles l'illusion d'un mouvement naturel lorsqu'elles sont affichées à une certaine fréquence ?

Nous étions perplexes en découvrant qu'à l'exception de quelques articles et ouvrages traitant de sujets divers (p. ex. Owen, 2011; Power, 2008; Torre, 2014), aucun animateur et aucun théoricien de l'animation n'a tenté de répondre à ces deux questions fondamentales de manière exhaustive et scientifique. Pire encore, la seule « théorie » généralement citée dans le domaine pour expliquer notre perception du mouvement en animation, celle de la persistance visuelle, a été réfutée il y a plus de 40 ans par des chercheurs en psychologie cognitive (Anderson et Fisher, 1978). Selon cette théorie datant du XIXe siècle, chaque photogramme d'un film est maintenu juste assez longtemps sur la rétine pour combler le vide

laissé entre chacune des images projetées. La succession continuelle de ces images éliminerait ainsi le papillotement du projecteur et créerait l'illusion d'un mouvement continu à l'écran (Konigsberg, 1997, p. 291). Les scientifiques ont cependant démontré que la transformation des images statiques en ce qui est appelé un « mouvement apparent » dans les écrits savants ne se fait pas au niveau de la rétine, mais est plutôt un processus cognitif (Anderson et Anderson, 1993 ; Anderson et Fisher, 1978). Le fait que certains animateurs et chercheurs continuent de croire en la persistance visuelle illustre éloquemment la nécessité d'ouvrir les études animées aux découvertes en sciences de la vision, car les chercheurs issus de ce domaine ont étudié des sujets qui permettent de répondre aux questions nous avons posées. L'étude de la perception du mouvement animé sous un angle cognitif est importante pour des raisons de recherche fondamentale, mais aussi en termes pratiques.

Nous employons les 12 principes parce qu'ils fonctionnent, mais qu'arrive-t-il lorsqu'ils ne peuvent plus nous aider à surmonter les défis posés par l'animation au XXI^{e} siècle ? Par exemple, l'industrie du divertissement est maintenant en mesure de mettre en scène des personnages de synthèse de plus en plus réalistes dans ses produits (jeux vidéo, films d'animation 3D et effets visuels pour le cinéma). Essayer de créer des personnages photoréalistes peut toutefois causer des problèmes perceptuels coûteux et indésirables, dont un phénomène particulier surnommé la « vallée de l'étrangeté »[1]. Ce sentiment vague décrit le fait qu'une entité (robot, jouet, personnage animé, etc.) dont l'apparence est *presque* humaine provoque chez l'observateur un sentiment étrange d'inquiétude, voire de révulsion. En dépit de leur utilité, les principes d'animation ne peuvent pas nécessairement aider l'animatrice du XXI^{e} siècle à résoudre ce type de problème, car ils ont été formulés pour améliorer la qualité perceptuelle d'animations 2D réalisées sur papier, alors que la vallée de l'étrangeté est une conséquence des nouvelles technologies d'animation 3D. De plus, l'émergence de nouvelles technologiques a aussi changé la façon dont une animation est perçue. Traditionnellement, un mouvement animé est visionné passivement en regardant un écran, mais les technologies immersives et interactives nous permettent maintenant d'interagir directement avec une animation lorsque celle-ci est employée dans un jeu vidéo ou dans un environnement virtuel. Ces nouvelles plates-formes soulèvent des questions quant à la nature et la fonction d'une animation. Faut-il, par

[1] Comme nous le verrons au chapitre 6, ce phénomène décrit un sentiment subtil, appelé le *shinwakan*. Appelé *uncanny valley* en anglais, il résonne avec le concept freudien du *uncanny* (Freud, S., 2003). Le concept se traduit en français par la « vallée de l'étrange » (Mori, 2012 [1970]-a) ou par la « vallée de l'inquiétante étrangeté ». Nous avons choisi d'appeler le phénomène la « vallée de l'étrangeté », car nous croyons que cette fusion des termes capte la qualité vague et inusitée du sentiment.

exemple, animer ces mouvements interactifs de manière réaliste ou peuvent-ils être aussi expressifs qu'un *cartoon*[2] ?

Pour répondre à ce type de question et s'assurer que l'art de l'animation puisse s'adapter aux demandes technologiques du XXIe siècle, il faut abandonner les idées archaïques du XIXe siècle, telle la théorie de la persistance visuelle, et se référer aux écrits scientifiques pour mieux comprendre ce que nous avons surnommé les piliers du cinéma d'animation. Ce n'est pas la première fois que les artistes se tournent vers la science pour faire avancer leur art. Non seulement verrons-nous dans les prochains chapitres que l'animation et le cinéma sont nés d'une collaboration intime entre des chercheurs et des artistes, mais que les artistes, tel Johannes Vermeer (1632-1675), emploient des dispositifs optiques, dont la *camera obscura* (voir chap. 1), au cours de l'âge d'or de la peinture néerlandaise, pour dépeindre des scènes avec un réalisme exagéré (Snyder, L. J., 2015). Et presque deux siècles plus tôt, Léonard de Vinci (1452-1519) décrit l'importance de la science dans le processus artistique ainsi :

> Those who are enamoured of practice without science are like the pilot who gets into a ship without rudder or compass and who never has any certainty where he is going. Practice should always be based on sound theory, of which perspective is the guide and gateway, and without it nothing can be done well in any kind of painting. (da Vinci, 2008, p. 212)

Puisque nous croyons que l'animation, comme la peinture, doit reposer sur une base théorique solide, l'objectif principal de cette thèse est de mieux comprendre les piliers perceptuels du cinéma d'animation en faisant le pont entre les recherches scientifiques sur la perception et les études cinématographiques, plus particulièrement celles dédiées à l'animation. Étant donné que les deux phénomènes perceptuels les moins compris en animation sont le mouvement apparent et les origines des 12 principes d'animation, la première moitié de cette thèse vise à expliquer pourquoi nous percevons du mouvement cinématographique alors que la deuxième moitié s'intéresse aux principes d'animation qui relèvent du mouvement. Il faut noter qu'il existe déjà une branche des études cinématographiques, connue sous le nom de *psychocinematics* en anglais, et « psychocinématique »[3] en français, qui mobilise les sciences cognitives pour étudier un ensemble de phénomènes filmiques divers, dont le mouvement apparent, la

[2] Bien que certains considèrent *cartoon* et son adjectif « cartoonesque » des anglicismes et préfèrent le terme « dessin animé », nous avons choisi de les employer par moments parce qu'ils désignent et décrivent à la fois un style graphique caricatural et un type de mouvement exagéré qui ne se limitent pas au dessin.

[3] Nous avons choisi de traduire *psychocinematics* par « psychocinématique ». Par contre, le terme ne semble pas être d'usage commun. En fait, nous ne l'avons trouvé que dans une thèse doctorale (Coutrot, 2014, p. x) et dans un appel de communications pour une conférence.

narration, l'attention, le genre et les émotions. En études de l'animation[4], l'approche cognitive porte le nom de *neuroanimatics*[5] (Owen, 2011), mais peu de chercheurs semblent s'y intéresser. Il est pertinent de retranscrire verbatim une description des objectifs de la psychocinématique, car ils sont semblables aux objectifs de cette thèse qui peut être qualifiée de neurocinématique. D'après le psychologue américain Arthur Shimamura (1954-2020), la psychocinématique :

> - Considers the psychological and biological underpinnings of our movie experience
> - Addresses the aesthetic nature of movies from an empirical approach
> - Develops movies for psychological research as a means of understanding cognitive processes as they unfold dynamically in time
> - Encourages a multidisciplinary approach that includes psychology, cognitive science, neuroscience, philosophy, film studies, filmmaking, art history, sociology, and other related endeavors. (Shimamura, A. P., 2013, p. 3)

Tout comme les recherches psychocinématiques dont elle s'inspire, cette thèse est transdisciplinaire. Nous tenterons donc de consolider l'approche et le savoir praxéologiques de l'animateur avec les sciences cognitives. En dépit de cette transdisciplinarité, il faut insister sur le fait que cette recherche est d'abord et avant tout une étude cinématographique à teneur neuroanimatique et non une étude en psychologie. Nous mobiliserons ainsi les théories et méthodes expérimentales quantitatives provenant des branches perceptuelles et cognitives de la psychologie pour faire avancer le savoir en arts visuels. De surcroit, puisque cette thèse s'adresse principalement aux animateurs et chercheurs en études animées et que les mécanismes psychophysiques[6] et psychologiques impliqués dans la perception sont parfois complexes, nos explications devront être simplifiées. Puisque nous souhaitons que nos recherches soient utiles au praticien, chaque section majeure de ce travail vise à répondre à une question fondamentale et pratique. Après avoir énoncé celle-ci, les théories scientifiques qui y sont associées seront présentées en décrivant les notions les plus fondamentales. Il sera aussi nécessaire, par moments, de relater l'origine de certains concepts scientifiques et d'expliquer comment ces derniers ont été interprétés en études

[4] Bien qu'en anglais, *animation studies* désigne la branche des études cinématographiques portant sur le cinéma d'animation, les termes « études animées » ou « études de l'animation » ne semblent pas être employés en français pour décrire le champ d'études. Voulant éviter d'alourdir le texte inutilement en écrivant « études cinématographiques en animation », nous emploierons donc « études animées » ou « études de l'animation » dans le sens anglais de *animation studies*.

[5] *Neuroanimatics*, que nous traduisons par « la neuroanimatique », est définie comme étant : « the application of neuroscientific knowledge to the understanding of animation production and spectatorship » (Owen, 2011, p. 345).

[6] Selon le dictionnaire, la psychophysique désigne la : « [d]iscipline qui a pour objet l'étude des relations quantitatives entre les stimulations physiques et les réponses qu'elles engendrent » (Antidote, 2022s).

cinématographiques, car cette histoire peut expliquer la ténacité de certaines idées et théories incorrectes en animation, dont celle de la persistance visuelle. Bien qu'un bon nombre des réflexions et des postulats présentés dans cette thèse peuvent s'appliquer autant à l'animation qu'au cinéma en prise de vue réelle (ci-après PVR[7]), une attention particulière sera portée aux phénomènes perceptuels qui sont uniques au mouvement animé et à la neuroanimatique. Cela dit, le mouvement apparent est un phénomène qui est au cœur du cinéma, qu'il soit animé ou en PVR. Par conséquent, les recherches psychocinématiques seront présentées durant la première moitié de cette thèse, car elles sont peu connues en études animées et les théoriciens cognitivistes ont exposé le caractère fallacieux de la persistance visuelle.

Il est important de décrire brièvement notre méthodologie de recherche à ce stade, car, quoiqu'un peu plus rare en science, elle est typique d'une démarche artistique. Si nos recherches avaient débuté avec une hypothèse ou une théorie que nous voulions valider de manière expérimentale ou artistique, notre approche aurait été déductive. Mais nos objectifs de recherche n'ont pas commencé par une hypothèse. Ils ont plutôt émergé d'un désir de comprendre la nature scientifique de phénomènes que nous avons observés. Étant parmi les premiers animateurs à vouloir transposer les connaissances scientifiques fondamentales aux études en animation et étant peu familier avec la psychologie, nous ne savions pas quelles théories ou branches de ce vaste champ d'études pourraient expliquer ces phénomènes. Il fallait donc consulter un ensemble important d'ouvrages avant de pouvoir identifier quelles théories ou branches de la psychologie pourraient élucider les principes perceptifs qui sous-tendent les principes d'animation. Cette approche exploratoire qui part d'une observation et qui peut mener à une hypothèse ou théorie est qualifiée d'inductive. Nous avons commencé notre recensement en lisant des articles scientifiques, mais ces derniers étaient trop précis et employaient un langage spécialisé avec lequel nous n'étions pas encore familiers. Pour éviter de se perdre dans la minutie de ces articles, il était donc plus productif de consulter d'abord des ouvrages plus généraux écrits par des scientifiques de renom. Après avoir identifié un concept qui pourrait potentiellement s'appliquer à l'animation, nous l'examinions de plus près en nous référant aux articles scientifiques cités dans l'ouvrage plus général. Nous verrons au sein du chapitre 1 que notre méthode exploratoire et inductive, qui va du particulier (un phénomène) au général (hypothèse), peut également décrire comment les animateurs de Disney ont formulé les 12 principes d'animation, car, même si ces artistes n'étaient pas des scientifiques, ils employaient la

[7] Nous empruntons cette abréviation à Denis (2017, p. 5).

méthode inductive pour régler des problèmes qu'ils avaient observés. Les 12 principes d'animation, tout comme les piliers perceptuels de l'animation, résultent ainsi d'une méthodologie inductive.

Pour faire le pont entre la psychologie perceptuelle et les études cinématographiques, il est important de commencer ce travail en présentant les grandes théories et principes provenant de ces deux disciplines. Le premier chapitre de cette thèse s'attaque à la question : « comment pensons-nous percevoir » ? En d'autres mots, quelles sont les théories qui ont été formulées pour aider le chercheur à mieux comprendre comment la perception opère de manière générale ? Trois grands courants de psychologie visuelle seront présentés. Ces derniers recoupent les trois perspectives suivantes : directe, indirecte et computationnelle. Nous verrons également des notions provenant de la psychologie cognitive, de la neuro-esthétique, et de la psychologie évolutionniste. Après avoir exploré les différentes théories portant sur la nature de l'animation et sa place en études cinématographiques, la définition de McLaren sera examinée, car il est important de préciser quels sont les interstices invisibles qu'il mentionne et ce qu'il entend par « movements that are drawn » (Hoffer, 1981, p. 5). Puisque les 12 principes d'animation sont au cœur de cette thèse, un survol des circonstances qui ont permis aux animateurs de Disney de les formuler sera présenté. Ils seront ensuite catégorisés selon leur fonction cinématographique et une description sommaire de chaque principe sera fournie.

Il est important de préciser qu'il sera impossible d'examiner toutes les notions psychologiques qui sont associées aux principes d'animation, car ces derniers sont hétéroclites et traitent de plusieurs aspects d'un film animé (dont le scénario et le savoir-faire). Nous nous intéressons donc aux principes qui abordent la dimension perceptuelle d'un film en nous concentrant sur les facteurs et phénomènes élémentaires qui contribuent à la qualité du mouvement animé. Par conséquent, il sera peu question de la performance et des émotions des personnages animés. Et, quoique mentionnée par moments, la contribution perceptuelle du son dans un film ne sera pas examinée, en dépit du fait que la musique et le bruitage jouent un rôle capital au cinéma. Il faut également mentionner qu'en dépit de la richesse et la diversité de l'animation comme médium artistique d'expression, nos postulats et propos seront appuyés par des exemples tirés de productions hollywoodiennes pour les raisons suivantes : d'abord, ces films sont connus et faciles à visionner ; ensuite, la prédominance du *illusion of life* de Disney en animation commerciale fait en sorte que les films ont fort probablement été réalisés en tenant compte des 12 principes d'animation ; et finalement, puisqu'ils sont conçus à l'intention du grand public, ces films illustrent comment l'animatrice

mobilise intuitivement des principes perceptuels, dont l'attention et l'exagération, pour créer des expériences sensorielles saillantes.

Puisque la grande majorité des phénomènes perceptuels discutés dans cette thèse sont d'une nature visuelle et débutent lorsque l'œil capte les faisceaux lumineux, il est nécessaire de comprendre les concepts psychophysiques et anatomiques élémentaires de la vision. Ces derniers seront donc présentés au deuxième chapitre qui aborde la question : « comment voyons-nous ? ». Un examen des cellules rétiniennes qui captent les informations contenues dans la lumière nous permettra de mieux comprendre la perception de la couleur, le mouvement, les phénomènes associés à la projection d'un film et pourquoi l'emploi des silhouettes est si important en animation. Nous verrons aussi que le mouvement et la forme sont traités par deux systèmes distincts, mais interconnectés, qui opèrent à des vitesses différentes. Le fait que le mouvement soit traité plus rapidement que la forme peut expliquer pourquoi le spectateur ne perçoit pas la déformation parfois bizarre des formes dans une animation rapide.

Le chapitre 3 vise à démystifier la persistance visuelle en examinant la cause des images rémanentes ainsi que l'origine de chaque phénomène visuel qui y est associé. Il est également important de relater l'histoire de la théorie pour deux raisons. En premier lieu, elle est intimement associée à la genèse de l'animation au XIXe siècle, une époque où les arts et la science travaillent de pair. En second lieu, elle explique pourquoi une théorie incorrecte s'est greffée au seuil de fusion du papillotement et à la perception de mouvement, deux piliers perceptuels du septième art que les premiers cinéastes tentent de comprendre. Nous verrons notamment qu'avant d'être réfutée au XXe siècle, la persistance visuelle est une théorie sérieuse qui a été développée par Joseph Antoine Ferdinand Plateau (1801-1883), un scientifique de renom qui est aussi considéré par certains comme le père de l'animation grâce à son invention du phénakistiscope des premiers dispositifs visuels.

Ayant démontré que le mouvement apparent n'est pas produit sur la rétine, mais résulte de procédés perceptifs, nous présenterons le travail du physiologiste autrichien Sigmund Exner (1846-1926) et du psychologue allemand Max Wertheimer (1880-1943) au chapitre 4, car ces derniers découvrent et décrivent le mouvement apparent de longue portée et le mouvement apparent de courte portée, qui sont les deux types de mouvement employés au cinéma et en animation. Le modèle de Reichardt, qui décrit comment le mouvement est perçu, ainsi que les axiomes qui gouvernent le mouvement apparent, seront aussi présentés.

Puisque notre second objectif est d'élucider la nature cognitive et perceptuelle des principes d'animation, nous commençons la deuxième section de cette thèse au chapitre 5 en présentant les cinq paliers perceptuels de l'animation, un modèle que nous avons inventé afin de classifier les piliers perceptuels de l'animation et les phénomènes qui les constituent. Les cinq paliers sont : 1) le mouvement apparent (décrit dans la première partie de la thèse) ; 2) le mouvement inanimé ; 3) le mouvement animé ; 4) le mouvement émouvant (c'est-à-dire les émotions et performances) ; et 5) le monde (*Umwelt*) animé. Ce modèle aide également l'animatrice à identifier les facteurs qu'elle doit considérer pour bien représenter un mouvement ou un phénomène. Puisque l'animatrice doit, dans un premier temps, créer des mouvements convaincants, nous examinerons la cadence, le tempo et la compression et l'étirement (principe d'animation n° 1), car ces notions permettent aux cinéastes et à l'animatrice de produire des mouvements apparents réalistes et fluides. L'analyse taxonomique du mouvement animé réalisée par McLaren et Munro sera également examinée.

La première partie du chapitre 6 explore la distinction animé-inanimé[8], car celle-ci décrit les différences fondamentales entre un mouvement « animé » qui est effectué par une entité vivante et les mouvements passifs associés aux objets « inanimés ». Ces différences sont au cœur du *illusion of life*, car l'animatrice doit pouvoir représenter les gestes spontanés d'une entité consciente et les mouvements passifs d'un objet inerte. La deuxième partie de ce chapitre porte sur l'exagération, car ce principe d'animation (n° 10) est un catalyseur qui contrôle l'intensité des autres principes et phénomènes perceptuels. Un examen des stimuli supranormaux, du *peak shift* et de la néoténie montre que l'exagération est un outil perceptuel puissant qui peut véhiculer et perpétuer des stéréotypes négatifs lorsqu'il est utilisé sans discernement. Un examen de la vallée de l'étrangeté (Mori, 2012 [1970]-b) nous permet de démontrer que tout phénomène perceptuel est fondamentalement holistique et qu'il faut éviter les disparités visuelles.

Nous continuons d'étudier le rapport entre le réalisme et le niveau d'exagération en animation au dernier chapitre en tentant de répondre à la question : « à quel degré les mouvements animés doivent-ils être réalistes pour fonctionner ? ». Partant de l'idée selon laquelle l'exagération est d'abord déterminée par le genre cinématographique, nous avons inventé un ensemble de concepts théoriques et pragmatiques, telles la pyramide de l'exagération et la cape de la crédibilité, pour aider l'animatrice à créer des

[8] Bien que les mots « animé » et « inanimé » devraient être au féminin s'ils sont accordés avec « distinction », nous avons opté pour la forme masculine, car le terme technique qui vient de l'anglais (*the animate-inanimate distinction*) était au masculin lorsque nous l'avons vu écrit en français. Il faut toutefois noter que les écrits mentionnant la « distinction animé-inanimé » ne portent pas sur des phénomènes psychologiques, mais portent sur la grammaire.

animations et des univers expressifs et convaincants. Le *staging* (la mise en scène), qui est le principe d'animation n^{o} 3, sera aussi examiné, car il permet à l'animatrice de maintenir et contrôler l'attention du spectateur. Nous terminons le chapitre en explorant le rôle de la gravité et de l'environnement dans une animation, car ces aspects, qui sont généralement éclipsés par les personnages, déterminent les règles fondamentales qui renforcent ou qui brisent l'illusion de la crédibilité de l'univers filmique.

Nous concluons en soulignant que les sujets abordés dans la thèse ne font qu'effleurer les différents principes et phénomènes perceptuels et cognitifs employés en animation et suggérons des avenues de recherches prometteuses. Un rapprochement entre les arts et la science est nécessaire, car les études animées ne peuvent plus se permettre d'être mystifiées par la magie des principes d'animation et de les déployer, comme Mickey, sans les comprendre. Pour naviguer les eaux du XXIe siècle, il est grand temps que l'animation, à la fois comme art et comme champ d'études, abandonne les idées du XIXe siècle et examine d'un œil scientifique les piliers perceptuels de l'animation.

CHAPITRE 1

Piliers théoriques de l'animation

If the human brain were so simple
That we could understand it,
We would be so simple
That we couldn't.

Emerson M. Pugh[1] (Pugh, 1977, p. 154)

La perception est un phénomène remarquable que nous tenons pour acquis, car l'acte de voir est généralement instantané si notre vision est normale. Malgré sa simplicité apparente, la vision dépend d'un système incroyablement complexe et pluridimensionnel. En fait, plusieurs de ses aspects, dont la perception du mouvement, qui occupe une place centrale dans cette thèse, sont peu compris par les scientifiques. Puisque nous souhaitons faire le pont entre les arts et la science, nous nous référerons à deux grands types d'écrits : 1) les recherches et les grands courants de psychologie qui se sont intéressés à la perception et 2) les études cinématographiques qui portent sur le cinéma au sens large et sur l'animation. Ces sources peuvent être classées en trois types de savoir : les textes psychologiques sont scientifiques, les études cinématographiques sont théoriques et les livres produits par des réalisateurs et animateurs sont d'une nature praxéologique. Bien que les concepts savants et pratiques venant des études cinématographiques soient importants et servent d'ancrages familiers aux animateurs, notre cadre théorique repose principalement sur la psychologie perceptuelle qui est constituée de nombreuses écoles de pensée et de théories scientifiques émanant des branches spécialisées de la psychologie. Pour ne pas alourdir le cadre théorique, certains concepts ne seront pas décrits dans ce chapitre, mais seront examinés dans la section de la thèse qui traite d'un sujet en particulier. C'est notamment le cas de la psychologie de la Gestalt. Puisque cette perspective, originaire d'Allemagne, a profondément influencé les sciences visuelles, les notions et concepts qui y sont associés seront abordés en partie tout au long de cette thèse.

De grandes perspectives ou métathéories ont été formulées au fil des années pour aider le chercheur à comprendre la perception et à guider ses recherches. Nous employons les termes « perspective » et « métathéorie », car ces derniers désignent en psychologie et en sciences un « point de vue théorique

[1] Dans une note en bas de page, George Edgin Pugh attribue ce dicton à son père qui l'aurait formulé circa 1938. Bien qu'il existe d'autres variantes de cette expression (p. ex. Buzsáki [2006, p. viil]), le site Quote Invertigator (O'Toole, 2016), corrobore cette origine.

large » (Wood *et al.*, 2009a, p. 31), qui regroupe un ensemble de thèmes, d'idées ou de concepts (Ehrhart et Ziegert, 2005, p. 902; Nugier, 2009). D'après Cutting (1993, p. 248), une métathéorie en science visuelle est un système qui nous aide à comprendre la perception et les problèmes qu'elle suscite. Chacun de ces systèmes tente ainsi de répondre à la question « comment sommes-nous conscients de notre environnement ? » (Carello *et al.*, 2007, p. 79) en proposant un principe général qui peut expliquer ce phénomène. Puisque chaque système voit le monde différemment, chaque métathéorie et les chercheurs qui y adhèrent étudient des aspects particuliers de la perception à travers leur prisme épistémologique et herméneutique. Par exemple, les tenants d'une perspective constructiviste ou indirecte s'intéressent aux instances où le système perceptuel commet des erreurs. Ils étudient ainsi les illusions d'optique. Les chercheurs écologiques, directs et gibsoniens cherchent des situations où la perception est véridique et emploie les informations de l'environnement. Les théoriciens s'intéressant aux premiers moments de la perception (*early visual processing*) utilisent des modèles mathématiques et les probabilités développées par l'approche computationnelle (Rogers, B. J., 2017, p. 27). Conséquemment, le type de question qui est posé, la formulation de ces mêmes questions et les stratégies qui seront déployées pour y répondre sont propres à la perspective (Carello *et al.*, 2007, p. 79-80). Donc, même si elles se veulent parfois contradictoires, il est important de présenter équitablement les théories de chaque camp, car nous croyons, comme Scherer (2000), que chaque perspective repose sur des faits empiriques et explique un aspect de la perception[2]. Il écrit :

> Each of the models captures and explains at least some aspects of reality. When comparing competing theories, one must determine exactly which of the many aspects of reality are highlighted by the respective theories and to what extent these aspects can be mapped onto each other given their relationships in reality (Scherer, 2000, p. 150).

Il faut noter que les perspectives présentées dans ce travail ne sont pas celles qui sont typiquement associées à la psychologie. Cela tient au fait que les sciences de la vision ont évolué en parallèle des écoles et métathéories qui traitent du comportement humain. Par conséquent, il sera peu question du fonctionnalisme de Williams James (1842-1910), de la psychodynamique de Sigmund Freud (1856-1939), du béhaviorisme de John B. Watson (1878-1958) et de B.F. Skinner (1904-1990), et de la perspective humaniste de Abraham Maslow (1908-1970) (Coon *et al.*, 2014, p. 19-22; Tavris *et al.*, 1999, p. 20-24)]. Nous commencerons par décrire le cognitivisme, qui est la métathéorie dominante en psychologie (Robins

[2] Il faut noter que Schener ne parle pas des perspectives cognitives qui seront décrites dans ce travail. Il souligne plutôt la valeur des différents modèles employés pour comprendre les émotions. Nous avons néanmoins inclus la citation, car les perspectives perceptuelles, comme les modèles émotionnels, sont similaires et expliquent une différente facette d'un phénomène psychique.

et al., 1999, p. 117). Ensuite seront décrites : la perspective directe, la psychophysique et la perspective indirecte. Une description de la perspective évolutionniste de Charles Darwin nous permettra de mieux comprendre les principes régissant les théories contemporaines en perception. Tout au long de ce chapitre, nous alternerons entre les écrits scientifiques et des notions-clés tirées des études en animation pour faciliter la compréhension du lecteur tout en tissant des liens entre les deux domaines. Avant de présenter les grandes perspectives en psychologie, il est important de commencer par définir ce qu'est une illusion, non seulement parce que le cinéma et les arts de manière générale reposent sur un ensemble d'illusions perceptuelles, mais aussi parce que l'importance accordée à celles-ci marque la différence qui distingue les deux premières perspectives en psychologie visuelle.

1.1. Qu'est-ce qu'une illusion ?

Une illusion peut être décrite tout simplement comme une erreur dans la perception (Wade, 2018a, p. 54). Cette définition est toutefois trop simple, car elle peut nous mener à confondre une illusion avec une hallucination. Bien que les illusions et les hallucinations soient des phénomènes similaires qui sont souvent placés sur le même continuum d'anomalies perceptuelles, elles demeurent différentes à un niveau fondamental. Une illusion est la perception erronée d'un vrai stimulus présent dans l'environnement, alors qu'une hallucination survient lorsqu'aucun stimulus n'est présent dans la réalité[3] (Marques *et al.*, 2020, p. 2829; Norton et Corbett, 2000, p. 111). Une autre différence est leur cause. Une illusion visuelle peut être créée par un phénomène naturel particulier ou être produite par une artiste ou un chercheur, alors qu'une hallucination peut être causée par la consommation de drogues (Siegel, R. K., 1977) ou par une maladie, comme le Parkinson (Fénelon *et al.*, 2000, p. 733-734; Marques *et al.*, 2020). Elle est aussi le symptôme central de la schizophrénie (Weber *et al.*, 2020). Bien que les hallucinations soient mentionnées par moments dans ce travail (p. ex. au chapitre 2) et que l'animation soit un excellent médium pour représenter des scènes hallucinatoires, cette recherche porte sur les illusions perceptuelles, car nous nous intéressons aux causes et aux effets de phénomènes visuels réels qui sont créés en animation et qui sont visionnés par des individus qui ne sont ni drogués ni atteints de troubles de santé mentale. Décrits en

[3] Les hallucinations sont souvent associées aux rêves (Gregory, 1973 [1966], p.131). Ce rapport onirique n'est pas surprenant, car le mot « hallucination » vient du latin hallucinatus, qui signifie blablater, divaguer ou rêver (Antidote, 2022l; Siegel, R. K., 1977, p. 132). Le dictionnaire de la psychologie d'Oxford précise cependant que les rêves ne sont pas des hallucinations (Colman, 2015, p. 329).

détail par Nicholas Wade dans *Art and Illusionists* (Wade, 2016, p. 148-151), le cube de Necker[4] (fig. 1.1 et 1.2), les cubes de Beaunis (fig. 1.3) et l'illusion du vase-visage de Ruben (fig. 1.4) sont parmi les illusions visuelles les plus connues (Wade, 2016, p. 147).

Figure 1.1 : Illusion de Necker

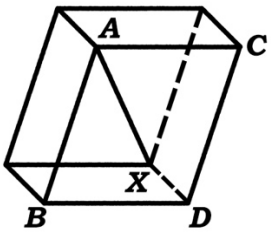


Figure 1.2 : Cube de Necker

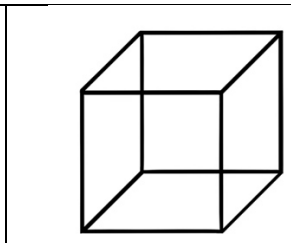


Figure 1.3 : Cube de Beaunis

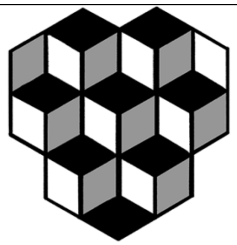
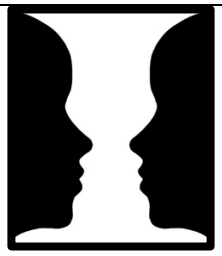


Figure 1.4 : L'illusion vase-visage de Ruben



Ces figures ont été dessinées par l'auteur qui s'est inspiré des images utilisées par Wade (2016, p. 148-150).

Elles sont décrites comme des figures ambiguës bistables, car elles suscitent deux interprétations visuelles possibles quant à leur identité ou leur structure (Wolfe *et al.*, 2019, p. 109)[5]. Dans le cas de l'illusion de Ruben, nous voyons soit les deux visages noirs en profil, soit le vase blanc au milieu, mais nous ne pouvons pas voir les deux percepts simultanément. Nous reviendrons au fait important que le système visuel ne peut percevoir qu'une seule chose à la fois au chapitre 4, lorsqu'il sera question des règles du mouvement animé. Bien qu'elle ne soit pas mentionnée dans les écrits savants, il existe également une différence notable entre une illusion visuelle et une illusion d'optique. Alors qu'une illusion visuelle est créée au niveau cognitif, l'illusion d'optique survient lorsque le phénomène visuel étrange est présent dans l'environnement et affecte les rayons lumineux (PBS, 2021). Les figures de 1.1 à 1.4 sont des illusions visuelles parce que le système perceptuel est court-circuité par une configuration ambigüe de lignes et de formes dont l'apparence n'est pas changée par des facteurs environnementaux. Par contre, il s'agit d'une illusion d'optique lorsque la forme d'un objet immergé dans l'eau change d'apparence (voir fig. 1.5), car les rayons de lumière sont déformés par le liquide (Wallisch, 2021). Le mirage est un autre exemple d'illusion d'optique, car c'est une réfraction

Figure 1.5: Illusion d'optique - réfraction

Photo prise par l'auteur.

[4] En 1832, Louis Albert Necker de Saussure (1786-1861), un cristallographe suisse, remarque que l'impression de profondeur d'un cristal qui est représenté graphiquement peut osciller spontanément entre deux positions (N. Wade, 2016, p. 148). Initialement, Necker représente l'illusion à l'aide d'un rhomboïde (voir fig. 1.1). L'illusion est maintenant représentée par un cube qui semble sortir de la feuille ou reculer dans l'espace (fig. 1.2).

[5] Une figure ambiguë peut également être *multistable*, si elle produit plusieurs percepts (Wade, 2016, p. 147). Les termes « bi-stables » et « multi-stables » sont repris directement de l'anglais.

des rayons de soleil qui crée l'impression qu'une étendue d'eau flotte au-dessus d'une surface chaude (Antidote, 2022o).

Si les illusions sont si particulières, pourquoi les étudier ? Premièrement, en examinant comment une sensation ambiguë est perçue, le chercheur peut mieux comprendre comment nous percevons l'ensemble des sensations de notre environnement qui sont, elles aussi, ambiguës, bruitées[6], fragmentaires, et incomplètes. Jon May (2020) propose même que : « [a]ll perception can be seen as the resolution of ambiguity » (p. 44). De plus, de la même manière qu'un *hacker* expose les vulnérabilités et la structure du système qu'il pirate, nous pouvons comprendre un mécanisme perceptuel et inférer son origine évolutionniste en découvrant comment une illusion l'a trompé ou exploité. Anstis décrit cette stratégie ainsi : « Seeing the errors that a system makes can help us to understand how that system works normally » (Anstis, 2015, p. 2). Les illusions visuelles aident donc les chercheurs à mieux comprendre le système perceptuel en inférant sa structure à partir de ses failles et de ses vulnérabilités, mais qu'en est-il du cinéma et de l'animation ? Les illusions perceptuelles occupent une place capitale dans ce travail parce que, sans elles, le cinéma n'existerait pas. La première illusion fondamentale au cinéma est celle du mouvement apparent[7] (*apparent motion*, en anglais), car ce phénomène visuel est la : « perception of smooth motion from brief, successive exposures of static images » (Blake et Shiffrar, 2007, p. 49). En clair, le mouvement apparent décrit l'illusion que nous percevons au cinéma, car les photogrammes sur la pellicule sont des images fixes. Elles ne bougent pas. Le mouvement filmique est ainsi une illusion, car, pour être perçu, chacun des photogrammes doit être affiché successivement à une certaine fréquence. Puisque l'impression de mouvement n'est pas produite dans la réalité, mais par un processus cognitif qui perçoit ces images fixes comme étant en mouvement, l'illusion n'est pas optique comme le proposent Mast et Kawin (2003, p. 8), mais visuelle. Comme nous le verrons, le mouvement animé, lorsqu'il est fluide, est à toutes fins utiles identique au mouvement d'un film tourné en prise de vues réelles au niveau perceptuel. Ils sont néanmoins différents dans la manière dont ils sont produits. L'animateur produit de manière artificielle les mouvements qui seront affichés à l'écran[8], alors que le cinéma en PVR capte de manière continue des photos d'actions et de scènes réelles.

[6] L'adjectif utilisé en anglais pour décrire des informations qui ne sont pas claires est *noisy*. Le terme, que nous avons traduit par « bruité », vient de la *signal detection theory* (SDT). Cette théorie psychophysique développée par un groupe de chercheurs américains mené par John A. Swets (Colman, 2015, p. 695-696) propose que nos sens cherchent à capter un signal qui est présent ou est entouré de bruit (Wolfe, Kluender, Levi et al., 2019, p. 12).

[7] Puisque rien ne se déplace vraiment dans ce mouvement illusoire, il est décrit comme « apparent » pour le différencier du mouvement réel (Goldstein et Cacciamani, 2022, p. 95).

[8] Une discussion détaillée de l'animation (définition, technique, etc.) suivra sous peu.

La deuxième illusion qui est au cœur de l'animation est le fait que nous croyons que les personnages et objets qui bougent à l'écran sont des êtres vivants, même s'ils ne le sont pas. Puisque ces deux illusions, celle du mouvement et celle de la vie, sont au cœur de l'animation, une grande partie de cette thèse sera consacrée à déterminer quelles sont leurs origines cognitives. À travers ce texte, les adjectifs « animé », « filmique » et « cinématographique » seront employés pour décrire le mouvement apparent. Bien que ces termes ne soient pas employés par les scientifiques, ils pourraient bien l'être, car la découverte du mouvement apparent a non seulement marqué le début du cinéma, elle contribue également au développement des sciences de la vision.

1.2. L'âge des illusions : la genèse de la psychologie et du cinéma au XIXe siècle

Notre fascination pour les illusions visuelles remonte à l'Antiquité. Les premières illusions visuelles rapportées par les anciens sont associées à des phénomènes naturels, tels les courants d'eau et la lune (Wade, 2018a, p. 54). Au IIe siècle de notre ère, Claude Ptolémée[9] tente par exemple d'expliquer l'illusion lunaire (*moon illusion*), qui est le fait que la lune semble plus grosse lorsqu'elle est proche de l'horizon[10] (Kaufman et Rock, 1962, p. 953) et il y a plus de 2 000 ans, Aristote et Lucrèce décrivent un mouvement étrange après avoir regardé un point fixe dans une rivière aux eaux vives[11] (Wade, 2018b, p. 689; Wade et Verstraten, 1998). Cet intérêt se transforme en véritable entreprise scientifique et artistique au XIXe siècle grâce au travail et aux découvertes d'inventeurs, de magiciens, d'artistes et de scientifiques. Surnommée The Age of Illusions par le professeur émérite, chercheur et psychologue britannique Nicholas Wade (2018a), cette époque voit la naissance des sciences de la perception et sert d'incubateur pour le cinéma. Puisque l'importance qui est accordée à cette période ne fait pas l'unanimité chez les chercheurs en études animées, commençons par relater l'effet des illusions visuelles, tel le mouvement apparent, sur la science.

À partir du XIXe siècle, les illusions sont étudiées dans des laboratoires et portent sur la perception de mouvement et la profondeur de champ (Wade, 2018a, p. 54; Wade *et al.*, 2017 [1855], p. 3). C'est donc à cette époque que des chercheurs, dont le professeur, inventeur et physicien belge Joseph Antoine Ferdinand Plateau, inventent des dispositifs optiques qui permettent d'afficher de courtes séquences

[9] Claudius Ptolemaeus (c. 100 e. c. – c. 178 e. c.) est un mathématicien, géographe et astronome égyptien d'origine grecque ayant vécu en Alexandrie (Goodman, 1997, p. 3; Jones, 2000).

[10] Une autre illusion associée à la lune est le fait que nous pouvons avoir l'impression qu'elle bouge lorsque des nuages passent rapidement devant elle. Cette illusion (appelée *induced motion*, en anglais ou mouvement induit, en français) est présentée au chapitre 5, car elle explique pourquoi un cycle de marche fonctionne en animation.

[11] Ce phénomène, appelé « l'illusion de la chute d'eau », sera décrit en détail au chapitre 3.

animées. Puisque ces inventions sont au carrefour des arts et de la science et qu'ils « remplissent la double fonction d'investigation scientifique et d'amusement populaire », ils sont qualifiés de « philosophiques » au XIXe siècle (Wade, 2004a, p. 102). À partir de la deuxième moitié du XIXe siècle, les intérêts des artistes et des savants commencent progressivement à diverger lorsque les scientifiques s'intéressent de plus en plus à des illusions qui sont détachées de la nature et qui sont plus abstraites[12], comme les illusions géométriques (Wade *et al.*, 2017 [1855]). Selon Wade (2018a, p. 58), la notion que ces illusions auraient une origine psychologique plutôt que physiologique mène Wilhelm Wundt (1832-1920) à fonder en 1879 Das Institut für experimentelle Psychologie (l'Institut de psychologie expérimentale) à l'Université de Leipzig, qui est le premier laboratoire dédié exclusivement à la recherche expérimentale en psychologie (Colman, 2015, p. 557; Hergenhahn, 2008, p. 265). Cette date marque pour certains le début de la psychologie moderne (Watts, 2010, p. 24). Les jouets philosophiques ont donc ouvert la porte aux sciences visuelles et continuent d'inspirer savants et recherches[13]. Wade propose même qu'ils soient tout aussi importants pour la science de la vision que l'invention du microscope l'a été pour la biologie (2004a, p. 102). Donc, bien que certains historiens décrivent les jouets philosophiques comme des « dispositifs optiques simples[14] » (Cook, 2016, p. 3) avec des noms prétentieux (Boorstin, 2012, p. 740), d'autres chercheurs les considèrent à juste titre comme étant non seulement à l'origine des sciences visuelles, mais également comme les précurseurs de l'animation (Beckerman, 2003, p. 12-18; Furniss, 2016, p. 25) et des premiers appareils cinématographiques (Gaudreault, 2008, p. 18).

Il existe une conception presque romantique du génie et du visionnaire solitaire qui, rejetant les idées archaïques de son temps, soutire des dieux un nouveau concept ou invente un nouveau dispositif qui révolutionne la science et change le cours de l'histoire. Nous verrons notamment que l'inventeur Joseph Plateau est comparé à un Prométhée moderne au chapitre 3. Cela dit, une idée n'est généralement pas un rejet du passé, mais plutôt un bricolage assemblé à partir de ce qui est venu avant (Johnson, Steven, 2011, p. 28). Donc, bien que les percées conceptuelles et les découvertes novatrices semblent rompre avec le passé, elles sont généralement produites par un processus incrémentiel qui s'appuie sur les innovations précédentes (Kasmire *et al.*, 2012). L'invention de l'appareil cinématographique est un exemple de ce

[12] Il est possible que ce changement soit causé par l'invention de la photographie qui, en permettant de capter la nature sur le vif, lui vole son attrait et son charme.

[13] Une histoire, relatée au chapitre 4, attribue la découverte de la Gestalt par Max Wertheimer à un stroboscope (Hergenhahn, 2008, pp. 458-459). Les jouets philosophiques continuent donc d'inspirer et fasciner les chercheurs visuels au XXe et au XXIe siècle. Les illusions visuelles sont encore étudiées, car l'origine de certaines d'entre elles demeure mystérieuse (p. ex. l'illusion de la chute d'eau qui sera décrite au chapitre 3).

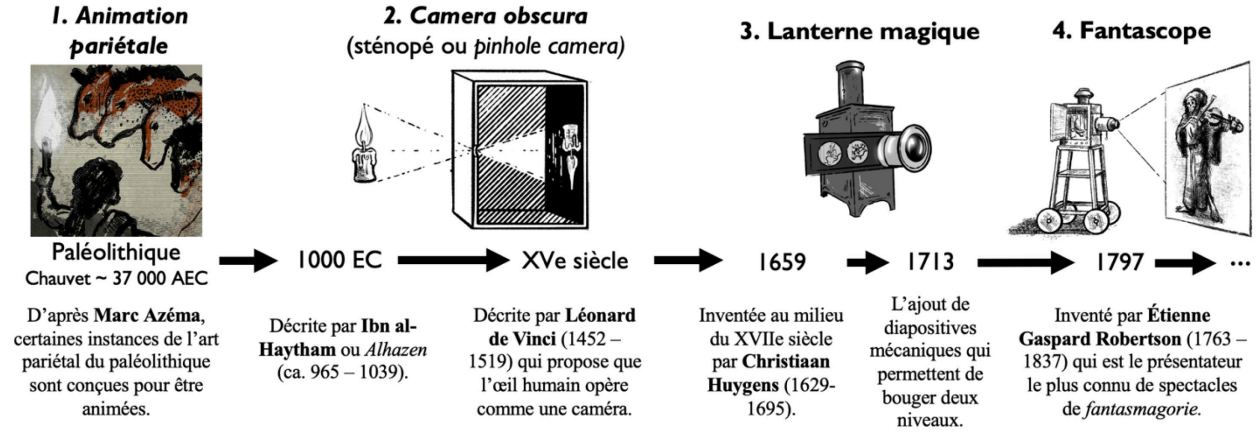
[14] Traduit de l'anglais : *simple optical devices*.

processus d'innovations graduelles et ne peut pas être attribuée au travail d'une seule personne. En fait, avant même que les premières caméras puissent être développées presque simultanément par une série d'inventeurs travaillant en France, aux États-Unis, en Allemagne et en Angleterre (Mast et Kawin, 2003, p. 21-22; Thompson, K. et Bordwell, 2010, p. 6-21), quelques conditions techniques devaient d'abord être remplies (Thompson, K. et Bordwell, 2019, p. 4 et 5). Le premier facteur est évidemment la réalisation qu'une série d'images fixes crée une impression de mouvement lorsque chacune d'elle est affichée rapidement. Puisque tout cinéma est fondé sur cette illusion visuelle, la préhistoire du médium (c'est-à-dire avant Thomas Edison et les frères Lumière), et plus particulièrement la préhistoire du cinéma d'animation, sont souvent présentées comme une longue liste d'inventions, de dispositifs et de jouets philosophiques permettant de voir et d'éventuellement projeter une séquence animée (Beckerman, 2003, p. 4-14; Lutz, 1998 [1920], p. 16-31; Mitenbuler, 2020, p. 10-12). L'évolution de ces instruments est représentée à la figure 1.6. Celle-ci a été intitulée « Des Scopes et des tropes[15] », car les inventions portent souvent des noms savants et parfois alambiqués avec des étymologies grecques ou latines. Certaines chronologies retracent les origines du mouvement animé à l'art pariétal des grottes du Paléolithique (fig. 1.6.1). En archéologie, l'art pariétal désigne les représentations réalisées (gravures, sculptures ou peintures) sur la surface d'une grotte, d'un porche ou d'un abri (Delluc et Delluc, 1992, p. 3; Otte *et al.*, 2009, p. 191). D'après Marc Azéma (2021), 41,1 % des figures animales réalisées sur les murs de grottes françaises représentent du mouvement (p. 379-380), soit en superposant les instances d'un mouvement dans une même image (Azéma, 2006, p. 490; Azéma et Rivère, 2012, p. 318-320) ou par la juxtaposition, en espaçant les différentes positions du mouvement dans l'espace (Azéma et Rivère, 2012, p. 320). D'après cette hypothèse intrigante, qui est malheureusement impossible à confirmer (Azéma, 2021, p. 317), l'artiste du paléolithique aurait animé les animaux dépeints sur les murs de Chauvet (37 00 A.E.C.) en révélant et en cachant les différentes instances d'un mouvement à l'aide d'une lumière papillotante (p. ex. torche ou lampe de graisse) et des ombres projetées par les reliefs naturels de la grotte (p. 389)[16]. Axées sur le développement de la caméra, plutôt que sur la découverte et l'emploi du mouvement apparent, les histoires cinématographiques ont tendance à débuter avec la *camera obscura* (voir fig. 1.6.2).

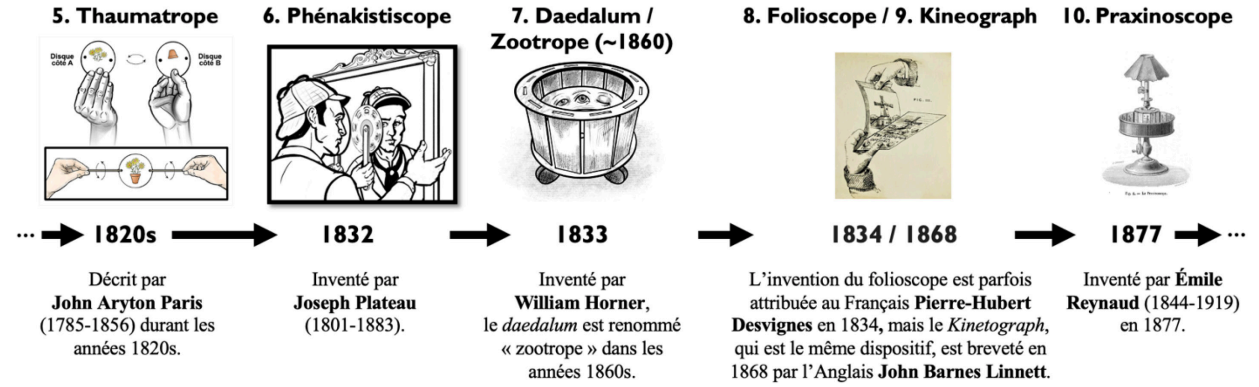
[15] Le suffixe « scope » provient du grec ancien (*skopos*) qui signifie « cible ». Éventuellement, il est employé pour désigner un appareil qui permet d'observer, tel un télescope ou un microscope. Le suffixe « trope » vient aussi du grec ancien « *trepein* » et veut dire « faire tourner » (Antidote, 2022w).

[16] Bien que Marc Azéma soit le chercheur qui expose cette théorie, la notion que les peintures paléolithiques sont une forme d'animation est mentionnée dans *The Illusion of Life* (Thomas et Johnston, 1995). Mais ses auteurs ne proposent pas que les images soient animées. Ils ne font que noter que ces images semblent dotées d'une énergie interne qui *suggère* le mouvement (p. 13).

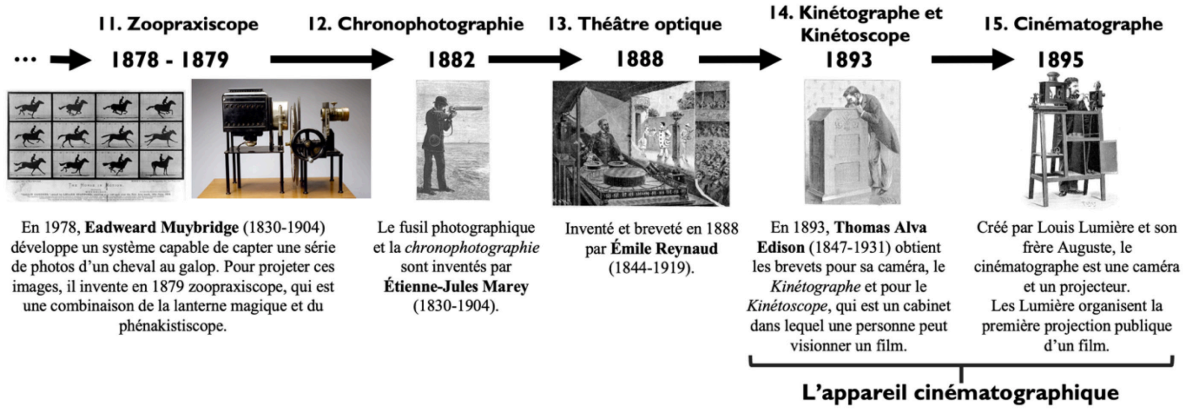
Figure 1.6 : Des Scopes et des tropes



Références
1– Art pariétal (voir texte) ; **2 – Camera obscura** (Wade, 2005, p. 9) ; **3 et 4 – Lanterne magique et fantascope** (Barber, 1989, p. 73; Furniss, 2016, p. 15-16). Les quatre images ont été créées par l'auteur.



5. Thaumatrope (Furniss, 2016, p. 17; Gunning, 2012, p. 495; Wade, 2005) ; **6. Phénakistiscope** (Herbert, 2013, p. 1133; Lipton, 2021b, p. 44-45; Wade, 2018a, p. 56); **7. Zootrope** (Wade, 2005, p. 115); **8.** Folioscope (Altın et Bingöl, 2018, p. 947) ; **9. Kineograph** (Furniss, 2016, p. 18; Hopwood et Foster, 1915, p. 37) – Image : Linnett (1868); **10. Praxinoscope** (Furniss, 2016, p. 23-24; Mast et Kawin, 2003, p. 10)/image : Chauvet (1879).
Les images 5, 6 et 7 ont été créées par l'auteur.



11. Zoopraxiscope (Furniss, 2016, p. 21)/Images : *Sallie Gardner au galop* (Muybridge, 1878) et zoopraxiscope (Latsis, 2015, p. 20) **; 12. Chronophotographie** (Furniss, 2016, p. 21-23; Marey, 1882, 1899; Papacosta, 2018), Image : Marey (1882) **; 13. Théâtre optique** (Cholodenko, 2008; Furniss, 2016, p. 24)/Image : Poyet (1892)**; 14. Kinétographe et kinétoscope ; 15. Cinématographe** (Mast et Kawin, 2003, p. 20)**/Image :** Poyet (c. 1897)

Décrite pour la première fois par le savant arabo-musulman Ibn al-Haytham ou Alhazen (ca. 965 – 1039) et mentionnée presque 500 ans plus tard par Léonard de Vinci (Kemp, 2008, p. xxxi; Strong, 1967, p. 105;

Wade, 2005, p. 9)[17], le sténopé ou la caméra obscure est une boîte sombre dont un des murs est percé par un petit trou[18]. Une image inversée de l'extérieur est projetée à travers le trou sur une paroi intérieure de la boîte. La caméra obscure, d'après Wade, n'est pas employée comme instrument scientifique, mais est plutôt utilisée par les artistes cherchant à dessiner en perspective (Wade, 2005, p. 8-9).

Dans ce type d'histoire chronologique, chaque découverte est souvent présentée comme une amélioration ou une évolution de l'instrument précédent. Cette approche n'est pas fausse, car il y a effectivement une évolution graduelle d'un instrument à l'autre. Par exemple, les scènes peintes sur les plaques en verre employées dans une lanterne magique, qui est l'ancêtre du projeteur de diapositives, peuvent être bougées en glissant la plaquette devant le projecteur. Il est même possible de faire bouger certains éléments de la scène en plaçant deux plaques de verre l'une par-dessus l'autre. Une plaque peut ainsi être bougée indépendamment de l'autre. De plus, l'invention de diapositives mécaniques au début du XVIIIe siècle permet à l'opérateur de la lanterne de produire des mouvements plus sophistiqués (fig. 1.6.3). Par exemple, lorsqu'un moulin à vent est peint sur une plaque de verre fixe et que les voiles du moulin sont peintes sur un autre plaque, celles-ci peuvent tourner séparément du moulin qui reste fixe (Barber, 1989, p. 73)[19]. Toutefois, ces mouvements demeurent relativement simples et doivent être produits de manière mécanique ou physique durant la présentation. Ensuite, la lanterne magique devient le fantascope *après* qu'elle ait été placée sur des roues (fig. 1.6.4). Cette nouvelle fonctionnalité permet à son opérateur d'agrandir et de rétrécir la scène projetée en avançant ou en reculant la machine[20]. Un autre exemple d'évolution itérative est le praxinoscope inventé en 1877 par Émile Reynaud (1844-1918). Cet instrument, illustré à la figure 1.6.10, est essentiellement un zootrope (fig. 1.6.7) muni de miroirs qui permettent aux spectateurs placés autour du disque rotatif de voir l'animation sans regarder à travers les fentes (Furniss, 2016, p. 23-24; Mast et Kawin, 2003, p. 10).

[17] Dans sa thèse doctorale, Strong propose que de Vinci est le premier à comparer l'œil à une caméra obscure.

[18] En anglais, le sténopé est appelé : *pinhole camera*.

[19] Cette technique est similaire à celle employée par un animateur au XXe siècle qui peut séparer le personnage du décor en traçant ce dernier sur un acétate et en plaçant cette pellicule transparente par-dessus un décor fixe (Kristin Thompson, 1980, p. 107).

[20] L'inventeur du Fantascope, Étienne Gaspard Robertson (1763 – 1837), peut également changer la distance focale de l'image, créer des images en mouvement grâce à des diapositives mécaniques et projeter l'image sur de la fumée (Barber, 1989, p. 74). Ces effets permettent à l'opérateur, qui projette les images de derrière l'écran, de mettre en scène les fantômes et les sujets lugubres et gothiques qui caractérisent les spectacles de fantasmagories (Barber, 1989, p. 79; Furniss, 2016, pp. 15-16).

L'invention du phénakistiscope occupe une place majeure dans l'histoire du cinéma d'animation, car c'est le premier dispositif de son genre à afficher un mouvement animé. Inventé par Joseph Plateau en 1833[21] (Hannavy, 2013, p. 1133; Lipton, 2021b, p. 44-45; Wade, 2018a, p. 56), le phénakistiscope est un cercle de carton sur lequel les intervalles d'une séquence animée, simple et cyclique, sont dessinés. En tournant le disque devant un miroir et en regardant ces intervalles défiler à travers une série de fentes, l'observateur voit le dessin s'animer (voir fig. 1.6.6). Puisque Plateau réalise les dessins qui sont animés, il est considéré par certains comme étant le premier animateur (Beckerman, 2003, p. 6). Nous reviendrons au phénakistiscope lorsqu'il sera question au chapitre 3 des origines de la persistance visuelle et de la contribution de Joseph Plateau au cinéma d'animation.

Bien que les instruments visuels deviennent effectivement de plus en plus sophistiqués avec le temps, cette énumération linéaire et incrémentielle, allant de la lanterne magique au cinématographe, minore l'importance de chaque développement réalisé durant et avant l'âge des illusions (Gaudreault, 2008, p. 63-66). De surcroît, cette pratique suggère que chaque invention n'est qu'un tremplin, une étape évolutionniste, dont le but ultime est la création du cinéma. Pourtant, l'invention du kinétographe d'Edison (fig. 1.6.14) et du cinématographe des frères Lumière (fig. 1.6.15) n'est pas prédestinée, car l'objectif des inventeurs n'est pas de créer l'appareil cinématographique lorsqu'ils développent de nouvelles technologies ou améliorent les inventions précédentes. Ils opèrent plutôt, comme nous le verrons prochainement, de la même façon que notre système visuel a évolué – c'est-à-dire en modifiant une chose à la fois sans avoir de plan stratégique. Cela dit, il se peut que ces inventeurs et artistes ne fassent que suivre une sorte de mouvance cognitive ou évolutionniste qui nous pousse à produire des œuvres qui sont de plus en plus réalistes. Cette hypothèse vient de Merlin Donald (2006, 1993), qui croit que l'évolution cognitive de notre espèce s'est faite en trois phases. La première étape est la mimèsis, une période durant laquelle nous cherchons à imiter la réalité à travers les arts et la culture. Cette période débute il y a environ deux millions d'années et comporte la pantomime, la gestuelle, la danse, la représentation visuelle et le rituel basé sur les actions. Elle contribue à l'élaboration des technologies nécessaires pour produire des outils et établit les bases du langage verbal. Puisque le processus évolutif ne remplace pas les vieux systèmes, mais les réutilise, la phase mimétique est préservée dans les deux étapes subséquentes : le

[21] Plateau décrit les disques du phénakistiscope dans un article publié en 1832, mais le nom « phénakistiscope », qui vient du grec pour « tromper » et « observer » (Antidote, 2022p) apparait seulement en 1833 (Wautier et al., 2012, p.265). Selon Sadoul, Plateau voulait que l'instrument s'appelle le phantasmascope, mais « l'usage commercial fit prévaloir le terme très barbare *phénakistiscope* » (Sadoul, 1948, p, 19). L'instrument, tel que nommé par Plateau, est aussi écrit « fantascope » (Lipton, 2021, p. 45).

domaine mythique, qui débute il y a approximativement 150 000 ans et la phase théorique, qui commence il y a environ 2 000 ans (p. 7-8). Si cette hypothèse est vraie et que l'art est fondé sur une phase imitative de la réalité, il est possible que l'évolution des jouets philosophiques en appareils cinématographiques soit la manifestation artistique du développement cognitif et évolutif de notre espèce qui cherche à trouver le moyen de produire des représentations de plus en plus réalistes. Le cinéma, l'animation, la robotique, la réalité virtuelle et les sciences visuelles ont d'après cette théorie un ancêtre commun : celui de capter la réalité, de donner vie à l'inanimé et de comprendre pourquoi ces images ont pris vie. Donc, même si les inventions de Joseph Plateau, d'Eadweard Muybridge, de Thomas Edison et des frères Lumière n'avaient jamais vu le jour, il est fort probable qu'une autre forme de cinéma aurait éventuellement émergé, car aussitôt que le principe du mouvement apparent a été découvert, des figures scientifiques et artistiques auraient trouvé le moyen de capter et de partager les mouvements qui animent la vie et la réalité. Nous reviendrons à l'hypothèse de Donald prochainement, lorsqu'il sera question de la perspective cognitive. Il est ironique que la fin de l'âge des illusions, qui nous a légué les bases du cinéma et de l'animation, marque également la fin du rapport intime entre la science et les arts. Cette séparation se manifeste également dans l'histoire des études cinématographiques qui bascule entre une perspective littéraire et une approche scientifique.

1.2.1. Au carrefour des arts et de la science

Comme nous venons de voir, le cinéma a toujours été au carrefour de la science et des arts (Prince, 2010, p. 19). Initialement, les deux disciplines étaient presque inséparables, car les jouets philosophiques servent à la fois de divertissements et d'outils de découvertes scientifiques. Par contre, ce rapport équitable se perd lorsque l'appareil cinématographique devient le catalyseur de l'industrie culturelle, économique et artistique qu'est le cinéma au XXe siècle[22]. Les études cinématographiques, rédigées en anglais, suivent en quelque sorte la même trajectoire, car elles débutent avec deux ouvrages, le premier est littéraire et

[22] Bien que le cinéma devienne une industrie commerciale de divertissement aux États-Unis, son héritage scientifique n'est jamais oublié, surtout lorsqu'il est question des développements technologiques qui permettent d'ajouter de nouveaux attributs perceptuels (p. ex. sons, couleurs, stéréoscopie, etc.) au médium. Un exemple de la reconnaissance de l'héritage et de la dimension scientifique du cinéma est le fait que l'organisation fondée en 1927 pour améliorer l'industrie cinématographique (Sands, 1966, p. 29) est nommée : The Academy of Motion Picture Arts and **Sciences**. L'inclusion du mot « sciences » ne semble pas avoir été motivée par un désir de rehausser le statut du cinéma qui est considéré plébéien par l'élite. Car, en plus de décerner les Oscars, l'Académie est dotée dès sa création d'une branche à vocation technique appelée le Producers-Technicians Joint Committee dont le premier mandat est de régler les problèmes technologiques occasionnés par l'arrivée du son au cinéma. Il faut notamment trouver les moyens de réduire le bruit des caméras et des lumières (Sands, 1966, pp. 85-86). Ce comité est appelé le Science and Technology Council depuis 2003 (« Science and Technology Council », 2021). Il faut noter qu'il y a peu d'informations savantes sur l'histoire de l'Academy. Notre source primaire est ainsi *A Historical Study of the Academy of Motion Picture Arts and Sciences (1927-1947)* (Sands, 1966), une thèse doctorale datant des années 1960.

l'autre est scientifique. L'emploi d'une approche scientifique commence avec la publication de *The Photoplay: A Psychological Study* en 1916 par le psychologue allemand Hugo Münsterburg (1863-1916). Invité par William James pour le remplacer comme directeur du Harvard Psychology Laboratory, Münsterberg accepte le poste en 1892, quitte l'Allemagne et apprend rapidement à parler anglais. Il devient une figure célèbre aux États-Unis en faisant valoir les applications pratiques de la psychologie auprès du public américain (Wagemans *et al.*, 2006, p. 348-350). Il devient cependant extrêmement impopulaire à l'aube de la Première Guerre mondiale, parce qu'il défend l'Allemagne, critique la culture américaine et est condescendant envers ceux qui ne sont pas Allemands (Münsterberg, 1916, p. 5-6). De plus, il est accusé d'être un espion (Spillmann et Spillmann, 1993, p. 332) ; ses collègues lui tournent le dos et il perd la faveur de James (Münsterberg, 1916, p. 6). Selon Langdale (2002), ce serait peut-être cette chute en disgrâce et un désir de regagner la faveur du public qui auraient poussé Münsterberg à s'intéresser au cinéma (p. 7), qui est, à cette époque, un jeune art que la bourgeoisie, l'élite, et Münsterberg (2002 [1915], p. 172) considèrent de basse classe[23] (Pressler, 1991, p. 169). Cette mauvaise réputation est exacerbée par les sujets des films (p. ex. violence et adultère[24]) ainsi que la présence de nombreux nickelodéons[25] dans des ghettos urbains et la clientèle ouvrière qui les fréquente (Bowser, 1994, p. 121; Thompson, K. et Bordwell, 2010, p. 26-30). Pour élever le statut du médium, certains studios décident de promouvoir leurs productions comme des *photoplays*, une appellation qui les associe à la forme plus respectable du théâtre. De plus, le magazine du studio Paramount, *Paramount Pictographs*, publie chaque semaine un article écrit par une figure éminente qui fait l'éloge de la nouvelle forme d'art (Blatter, 2015, p. 67). Theodore Roosevelt, Nikola Tesla et Hugo Münsterberg sont parmi les contributeurs de renom. Peu importe ses motivations, Münsterberg publie deux textes sur le cinéma en l'espace de deux ans. Le premier est un article publié dans *Cosmopolitan* intitulé « Why We Go to the Movies » (Münsterberg, 2002 [1915], p. 171-190). Münsterberg y explique l'attrait psychologique du cinéma, tout en vantant ses mérites. Il emploie également la psychologie pour mieux comprendre certaines conventions cinématographiques comme l'attrait du gros plan, la force du montage et le pouvoir du cinéma de capter et d'exagérer les émotions (2002 [1915], p. 176-182). Ses hypothèses sur la nature de ces phénomènes sont approfondies dans *The Photoplay : A Psychological Study* (Münsterberg, 2002

[23] Après s'être déclaré un snob avoué, Münsterberg confesse que quelqu'un de son statut, un professeur de Harvard, ne daignerait jamais aller au cinéma au même titre qu'il n'irait pas à un spectacle de vaudeville, à un concert phonographique ou à un musée de cire (Münsterberg, 2002 [1915], p. 172).

[24] Les travailleurs sociaux et les groupes religieux aux États-Unis semblent avoir été plus sensibles au fait que l'adultère est représenté de manière comique dans les films français (Bowser, 1994; Thompson, K. et Bordwell, 2010, p. 29).

[25] Un nickelodéon est le nom donné aux premiers théâtres à ne montrer que des films. Son appellation vient du fait que l'entrée coûte cinq sous ou un nickel (Mast et Kawin, 2006, p. 62).

[1916]). Publié en 1915 et reconnu comme la première vraie contribution aux études cinématographiques (Blatter, 2015, p. 55), cet ouvrage est le texte fondateur de la psychocinématique qui est la perspective cognitive en études cinématographiques. Bien que Münsterberg y explore des sujets qui sont encore étudiés aujourd'hui (Baranowski et Hecht, 2017, p. 16)[26], sa contribution aux études cinématographiques n'est pourtant pas immédiate, car suivant sa mort soudaine en 1916 à l'âge de 53 ans (Wagemans *et al.*, 2006, p. 350), ses travaux et sa personne sont vite oubliés par ses pairs et par un public qu'il a si souvent ostracisé (Spillmann et Spillmann, 1993, p. 334)[27]. Nous reviendrons à ce livre au chapitre 3, car Münsterberg est le premier théoricien à réfuter la théorie de la persistance visuelle.

L'approche psychologique disparaît ainsi des études cinématographiques pendant presque 70 ans (Anderson, J., 2013, p. 76). Elle est remplacée par une approche plus artistique ou littéraire[28]. Paru en 1915, la même année que l'article « Why We Go to the Movies » (2002 [1915]) de Münsterberg, le livre *The Art of the Moving Picture* (1922[29]) marque le début de la perspective littéraire ou philosophique en études cinématographiques. Son auteur, Vachel Lindsay, acquiert la réputation d'un barde itinérant après avoir traversé les États-Unis trois fois à pied à la recherche du « *American Dream* » (Pressler, 1991, p. 157). Il compare le cinéma et les différents types de genres cinématographiques à des formes traditionnelles d'art. Par exemple, Lindsay (2010 [1922], p. 80-92) décrit le film d'action comme étant une forme de sculpture en mouvement et il compare une tour de siège dans *Intolerance* (Griffith, 1916) à de l'architecture en mouvement (Lindsay, 2010 [1922], p. 13). Lindsay déclare au chapitre XIII que le cinéma est une forme moderne de hiéroglyphes égyptiens, car c'est un langage symbolique visuel. D'après Kevin McDonald, le fait que Lindsay, ainsi que Sergei Eisenstein, comparent le cinéma à un langage présage l'approche structuraliste, sémiotique et linguistique de Christian Metz dans les années 1960 et 1970 (2016, p. 79). Cette perspective est fondée sur les écrits du savant suisse Ferdinand de Saussure (1857-1913), qui propose que le langage est un regroupement ou une organisation de signes. Chaque signe est composé de

[26] Pour plus de détails sur les contributions de Münsterberg, voir l'article « One Hundred Years of Photoplay: Hugo Münsterberg's Lasting Contribution to Cognitive Movie Psychology » (Baranowski et Hecht, 2017).

[27] Dans le premier chapitre du recueil d'essais *Psychocinematics*, Arthur Shimamura (2013b, p. 7) suggère que l'approche cognitive aurait pu être développée beaucoup plus tôt dans l'histoire des études cinématographiques si Münsterberg n'était pas mort si rapidement après la publication de *The Photoplay : A Psychological Study*, et si le béhaviorisme de Watson, qui était la perspective psychologique dominante à l'époque, n'était pas axé sur le comportement (p. 11).

[28] En animation, Alan Cholodenko, mentionné ci-haut, est un chercheur dans la tradition sémiotique présagée par Lindsay.

[29] Bien que la première édition de *The Art of the Moving Picture* paraît en 1915, nous citerons la deuxième édition qui est révisée et publiée en 1922.

deux éléments : le « signifié » qui représente le concept et le « signifiant » qui désigne le mot aléatoire qui est employé pour exprimer ce concept (Saussure, 1972 [1916], p. 109-117).

La dissémination des concepts de Saussure dans les milieux intellectuels est lente[30], mais la sémiotique est éventuellement adoptée et réinterprétée dans les années 1950 et 1960 par un bon nombre d'intellectuels français influents. L'influence de Saussure dans les milieux intellectuels français de l'après-guerre a mené à l'émergence du structuralisme[31] qui finit par dominer les études cinématographiques en France avec les ouvrages de Christian Metz (McDonald, 2016, p. 54; Metz, 2013 [1968]). Suivant la traduction tardive de textes importants en anglais, le structuralisme est alors découvert par les chercheurs américains et britanniques où il est appelé *French theory* (Cusset, 2005). Le cinéma peut dès lors être analysé, décodé et interprété comme un langage visuel et symbolique. De surcroit, la flexibilité et la perméabilité du structuralisme font en sorte que les études cinématographiques basées sur ce modèle incorporent tout au long de ce parcours d'autres perspectives, dont le marxisme, le féminisme et une réinterprétation de la psychanalyse freudienne par Jacques Lacan (McDonald, 2016, p. 88). Bien que le structuralisme permette de révéler la signification idéologique et culturelle d'un film en décodant son langage symbolique, cette approche littéraire peut sembler inadéquate pour un chercheur qui tente de répondre à la question posée il y a plus de cent ans par Hugo Münsterberg : « What psychological factors are involved when we watch the happenings on the screen? » (Münsterberg, 2002 [1916], p. 63). Frustré par le fait que la perspective sémiotique s'intéresse à l'idéologie plutôt qu'au médium cinématographique lui-même (Anderson, J. D., 1998, p. 7), un groupe de chercheurs mené par David Bordwell et Noël Carroll, de l'Université du Wisconsin-Madison, lancent la « révolution cognitive » durant la seconde moitié des années 1980 (Anderson, J., 2013, p. 79).

1.3. La perspective cognitive et la psychocinématique

La psychologie cognitive se définit comme une « [a]pproche qui met de l'avant l'étude des processus mentaux dans la perception, la mémoire, le langage, la résolution de problèmes et d'autres aspects du comportement » (Tavris *et al.*, 1999, p. 24). Bien que les savants en études cinématographiques l'adoptent à partir des années 1980, cette perspective commence plus tôt. Selon Howard Gardner dans *The Mind's*

[30] *Cours de linguistique Générale*, le livre majeur de Saussure, est publié deux ans après sa mort (McDonald, 2016, p. 57).

[31] Le structuralisme de Saussure est différent du structuralisme en psychologie, car ce dernier désigne l'école qui est basée sur les écrits de Edward B. Titchener et de Wilhelm Wundt (Colman, 2015, p. 736). Wundt, comme nous l'avons discuté, a fondé le premier laboratoire de psychologie à Leipzig en Allemagne en 1879 (p. 557). Le structuralisme sera discuté prochainement.

New Science (1985, p. 28), la perspective est née le 11 septembre 1956, lorsque Noam Chomsky présente l'article « Three Models of Language » (Chomsky, 1956) à un symposium du MIT[32]. Pour mieux comprendre ces grandes fonctions mentales, l'approche cognitive, qui est actuellement la perspective dominante en psychologie (Robins *et al.*, 1999, p. 117)[33], est multidisciplinaire. Elle reconnaît et incorpore donc les notions et principes venant des autres perspectives qu'elle absorbe. Le cognitivisme accepte par exemple la perspective écologique (décrite en détail à la section 1.6) selon laquelle le sujet n'est pas détaché de son environnement, mais est présent dans celui-ci (Wood *et al.*, 2009a, p. 27). Cette inclusivité est bénéfique, car un phénomène cognitif est pluridimensionnel. Les émotions, par exemple, sont influencées par l'apprentissage et la culture et ont également une dimension évolutionniste et biologique importante (Prinz, 2004, p. 16).

Comme il a été mentionné au sein de l'introduction, les tenants de la psychocinématique emploient l'approche cognitive pour étudier de nombreux phénomènes cinématographiques, dont le mouvement apparent, la narration, l'attention, le genre et les émotions, comme en témoignent les articles compris dans le recueil *Psychocinematics: Exploring Cognition at the Movies* (Shimamura, A. P., 2013). Pour le cognitiviste, il est erroné de parler de « langage » cinématographique et d'analyser ou de concevoir le cinéma de manière linguistique, car ce dernier est un médium visuel modelé sur le système perceptuel du cerveau (Sinnerbrink, 2019, p. 456). Dans *The Matter of Vision*, Peter Wyeth exprime clairement cette position ainsi : « Cinema is structured not like language, but like the brain » (2015, p. 141). Cette idée est au cœur de ce travail, car les conventions cinématographiques (pour ne pas parler de langage) ainsi que les principes classiques d'animation imitent, exploitent et amplifient les principes perceptuels. Ils sont dans ce sens une manifestation et une interprétation artistiques de la perception, dont ils sont le reflet. Oscar Wilde a donc raison lorsqu'il écrit dans la préface de *The Picture of Dorian Gray* (1991 [1891]) : « It is the spectator, and not life, that art really mirrors » (p. 3).

Même si cet historique des études cinématographiques n'est qu'un survol, il illustre le fait que les études cinématographiques n'ont jamais connu l'union entre la science et les arts qui a mené à la création du

[32] Il est quelque peu ironique que la science cognitive, employée au cinéma pour contrer une approche linguistique, soit née d'un débat linguistique. Les écrits de Chomsky ne s'attaquent cependant pas au structuralisme littéraire, mais au béhaviorisme, qui soutient que le langage est acquis graduellement par l'enfant. Chomsky croit plutôt que nous possédons une grammaire universelle qui est innée (Fancher et Rutherford, 2011, p. 556, 557 et 569).

[33] D'après ces mêmes chercheurs (1999, p. 117), il est faux de croire que le cognitivisme a complètement remplacé les autres perspectives. Ils notent que le béhaviorisme, la psychologie cognitive et la neuroscience cohabitent en psychologie. Toutefois, les écrits en psychanalyse sont ignorés par les études scientifiques.

cinéma. Son histoire est plutôt celle d'un pendule qui oscille entre l'approche poétique, métaphorique, littéraire de Lindsay et l'approche méthodique, clinique, scientifique de Münsterberg (Pressler, 1991, p. 165). Mais ce va-et-vient parfois combatif aurait pu être évité, car, suivant la parution de *The Photoplay* (Münsterberg, 2002 [1916]), Lindsay contacte des journalistes, des éditeurs et Münsterberg lui-même pour les convaincre de promouvoir le cinéma et leurs livres ensemble (Pressler, 1991, p. 162-164). Malheureusement, ses tentatives échouent. Münsterberg meurt peu de temps après et les études cinématographiques ne sont pas inaugurées par une union ou même un rapprochement des deux approches. Au contraire, ce début, pourtant si prometteur, présage plutôt le futur compartimenté des études cinématographiques. L'approche littéraire sous toutes ses formes (structuralisme, sémiologie, psychanalyse, etc.) et l'approche cognitive sont encore présentées comme des forces dichotomiques. Ce portrait est cependant erroné, car les perspectives posent et répondent à des questions différentes. L'école fondée par Münsterberg peut nous aider à comprendre la nature cognitive des phénomènes, des mécanismes et des conventions du cinéma, mais ne peut pas nous aider à identifier ou à comprendre la signification idéologique véhiculée par le film et la société qui l'a produit. La perspective littéraire peut révéler cette doctrine, mais ne peut pas expliquer scientifiquement comment le système visuel perçoit le mouvement apparent. Les deux approches sont essentielles à notre compréhension du film, car elles nous permettent d'appréhender un film dans sa totalité – comme un instrument perceptuel et véhicule idéologique. Il n'est pas trop tard pour consolider ces deux approches complémentaires. Tout comme les recherches psychocinématiques dont elle s'inspire, cette thèse est pluridisciplinaire. Nous tenterons de consolider l'approche et le savoir praxéologiques de l'animateur avec les sciences cognitives. Il faut toutefois souligner que les écrits basés sur une approche littéraire, psychanalytique et sémiologique ne seront pas cités souvent, car nous nous intéressons aux questions d'une nature perceptuelle qui peuvent aider l'animateur à mieux comprendre les fondements de son art. La tendance d'opposer une position à une autre n'est pas limitée aux études cinématographiques. Les sciences perceptuelles alternent également entre des perspectives qui s'opposent les unes aux autres, sans réaliser que chacune de celles-ci a sa valeur, puisqu'elle explique une dimension particulière du système perceptuel.

1.4. Les sensations directes et la perception indirecte

Une des questions fondamentales qui différencie les grandes perspectives en psychologie est l'importance qui est accordée aux sensations et aux perceptions. La sensation est le : « processus par lequel les sens captent des stimulus [sic] sensoriels (visuels, auditifs, etc.) et les transmettent au cerveau » (Wood *et al.*, 2009a, p. 82). Une sensation regroupe à la fois les processus qui détectent un stimulus et les mécanismes

qui transmettent l'information au système nerveux central[34] (SNC) (Tavris *et al.*, 1999, p. 101). Pour certains chercheurs, les sensations sont tout ce dont nous avons besoin pour voir, car elles sont des sources d'informations extrêmement riches et nous pouvons y accéder directement. La perspective basée sur cette idée est ainsi appelée « directe » (Rogers, B. J., 2017, p. 8-9). Un processus sensoriel direct est décrit comme étant *bottom-up* (Colman, 2015, p. 101), « du bas vers le haut » (Howes, 2010, p. 40), ou « ascendant », car il vient directement de la source sensorielle et remonte jusqu'au cerveau, qui est en amont des processus perspectifs. Pour d'autres phénomènes perceptifs plus complexes, les sensations sont des informations brutes et incomplètes qui doivent être interprétées à l'aide de processus cognitifs, telle la mémoire. Dans ce sens, la perception désigne : « l'ensemble des processus par lesquels le cerveau organise et interprète l'information sensorielle » (Tavris *et al.*, 1999, p. 101). Ces théories sont appelées indirectes ou *top-down* (« de haut en bas » ou « descendantes »), car la perception doit être inférée en amont par les procédés perceptifs et cognitifs qui traitent et interprètent les informations sensorielles en aval. La perspective indirecte est fondée sur le travail du physiologiste, physicien et mathématicien allemand Hermann Ludwig Ferdinand von Helmholtz (1821–1894) (Colman, 2015, p. 423; Rogers, B. J., 2017, p. 9). Tel que discuté, Helmholtz et les tenants de la perspective indirecte croient que les sensations sont des informations brutes qui doivent être interprétées par des hypothèses visuelles qu'ils appellent les inférences inconscientes de la perception (Fancher et Rutherford, 2011, p. 146 et 152). Le système visuel doit utiliser, tel un scientifique ou un détective, les inférences inconscientes, qui sont acquises par l'expérience, pour interpréter et déduire ce qui est perçu (Luyat et Regia-Corte, 2009, p. 303). La perspective indirecte est parfois appelée « constructive », car le système visuel utilise les matériaux bruts des sens pour construire ce que nous percevons (Rogers, B. J., 2017, p. 149).

Pour les adeptes de la perspective indirecte, l'ambiguïté suscitée par les illusions visuelles (illustrées aux figures de 1.1 à 1.4) est la preuve que les procédés perceptuels de haut en bas sont plus importants que ceux de bas niveau, car la perception doit traiter et donner un sens cohérent à des stimuli incomplets (Rogers, B. J., 2017, p. 14). La nécessité d'interpréter les informations sensorielles brutes nous sépare à un certain niveau de notre corps et de notre environnement. Ce détachement fait en sorte que les origines de la perspective indirecte et constructiviste peuvent être retracées à la doctrine de René Descartes qui croit que l'esprit existe séparément de la matière (Turvey, 2018, p. 15; Wolfe *et al.*, 2019, p. 5). Cette croyance s'appelle le dualisme cartésien (Colman, 2015, p. 113).

[34] Le SNC est « la partie du système nerveux composée du cerveau et de la moelle épinière » (Tavris, Wade, Gagnon et al., 1999, p. 65).

1.5. Le dualisme de René Descartes, le matérialisme et la psychophysique

Nous tenons pour acquis que l'acte de penser, notre esprit, notre identité se déroulent dans notre tête, mais cette idée est relativement récente dans l'histoire de l'humanité. Pour de nombreuses cultures préscientifiques réparties à travers le monde, notre âme vitale, notre conscience émotionnelle et l'acte de penser ne sont pas des fonctions cérébrales, mais sont plutôt associées à notre cœur et à notre souffle (Cobb, 2020, p. 15-16). Richard E. Lind, un auteur et psychologue clinicien, décrit cette croyance spirituelle ainsi :

> […] in every ancient geographical and cultural context the heart was the experiential location of the seed of consciousness as a whole, in all of its sacred, prosaic and aberrant manifestations, not just the consciousness of the body as opposed to the head. The heart functioned as the *mind of the body as a whole* […]. When, for example, the heart was said to "think," thinking was experienced as occurring in the chest. (Lind, 2015 [2007], p. 3)[35]

Bien que le cœur ait été le centre de la pensée pendant longtemps, notre « être » a éventuellement migré vers la tête. Selon certains chercheurs, dont le neuroscientifique Antonio Damásio (1994), René Descartes (1596–1650) est un des premiers à suggérer que l'esprit, qui est immatériel, est séparé et distinct du corps, qui est matériel. Plutôt que de percevoir l'esprit comme étant séparé de la matière, les matérialistes proposent qu'il n'y a pas de séparation entre la matière et l'esprit, car toute chose, incluant la conscience, résulte d'interactions entre la matière (Wolfe *et al.*, 2019, p. 5). Lorsque poussée un peu plus loin, cette idée mène au panpsychisme, qui propose que tout l'univers possède une forme de conscience (Cobb, 2020, p. 45). Bien que le panpsychisme semble être issu d'un spiritualisme « nouvel âge », la croyance est ancienne et demeure la philosophie dominante en Orient et en Occident jusqu'à ce que les philosophies rationnelles et antimétaphysiques la poussent en marge au début du XXe siècle (Skrbina, 2017, p. 2). Nous reviendrons au panpsychisme au chapitre 6, car une théorie suggérant que toute chose est sentiente peut potentiellement expliquer comment l'animateur peut convaincre un spectateur relativement facilement qu'un objet inanimé a une âme[36].

[35] L'héritage de la croyance ancienne et préscientifique qui identifie le cœur comme étant le siège de l'esprit et de nos émotions se manifeste encore dans les expressions de plusieurs langues. En anglais et en français par exemple, nous apprenons quelque chose *by heart* (Lind, 2015; 2007, p. 15) ou « par cœur », en français. Il existe également une grande variété d'expressions qui décrivent un état émotif à l'aide du cœur. Ainsi, notre cœur peut être gros, lourd, déchiré, dilaté, débondé ou ouvert, pour ne citer que quelques expressions familières qui utilisent le cœur pour décrire un état émotionnel (Antidote, 2022e).

[36] Bien que l'anthropomorphisme, l'animisme et le panpsychisme sont parfois confondus en études animées, nous verrons que ce sont trois concepts distincts au chapitre 6.

Un des fondateurs de la psychologie, le scientifique et philosophe allemand Gustav Fechner (1801-1887), est panpsychiste et consacre une partie importante de sa carrière à réfléchir sur la relation entre l'esprit et la matière. Le 22 octobre 1850[37], alors qu'il médite dans son lit, Fechner réalise qu'il est possible de mesurer quantitativement, à l'aide des mathématiques, la relation entre les événements psychologiques (les sensations), qui sont subjectifs, et l'événement physique ou l'énergie qui a causé la sensation. Cette relation harmonieuse entre l'esprit (psycho) et la matière (physique) a donné le nom à la nouvelle discipline, appelée « psychophysique » (Fancher et Rutherford, 2011, p. 156; Wolfe *et al.*, 2019, p. 6). Un bon nombre des recherches contemporaines qui sont citées dans ce travail sont d'une nature psychophysique.

Bien que les concepts du dualisme et du matérialiste semblent être passés de mode en sciences perceptuelles, les questions que ces perspectives soulèvent quant à la nature de la relation entre le corps et l'esprit ont influencé les approches perspectives contemporaines. Par exemple, l'idée de Descartes que nous sommes des machines contrôlées par un esprit désincarné se manifeste dans l'approche computationnelle de la psychologie cognitive qui considère que le cerveau est essentiellement une machine programmée comme un ordinateur (Damásio, 1994, p. 247-248). Nous reviendrons prochainement à cette perspective, car elle nous permet de développer des algorithmes capables de répliquer les fonctions cérébrales. Il est également possible de considérer la cognition incarnée comme étant une manifestation du matérialisme. La cognition incarnée (*embodied cognition*, en anglais)[38] : « considère que l'esprit ne doit pas être conçu comme un ordinateur, mais doit être compris dans le contexte de son corps, et de l'interaction de ce dernier avec l'environnement » (Dutriaux et Gyselinck, 2016, p. 419). D'après Damásio, les trois constats de la cognition incarnée sont : 1) il n'y a pas de distinction entre l'esprit et le corps, car ces derniers forment un seul organisme, 2) l'organisme (corps et l'esprit) interagit avec l'environnement et 3) les phénomènes mentaux sont des opérations physiologiques qui doivent être comprises en termes de l'interaction de l'organisme avec son environnement (Damásio, 1994, p. xvi-xvii). La notion selon laquelle le système perceptuel d'un organisme est déterminé par l'environnement dans lequel il a évolué est associée à la perspective évolutionniste de Darwin, qui sera décrite prochainement, et à la perspective directe et écologique de James Gibson.

[37] Fechner's Day est célébré le 22 octobre par certains chercheurs qui commémorent la naissance de la psychophysique.

[38] En anglais, l'adjectif *embodied,* tel qu'employé pour décrire la conscience, ne veut pas dire *« to express or be a good example of* », mais veut plutôt dire « *to give (a spirit) a physical body or form* » (Antidote, 2022i). Puisque le concept se réfère à quelque chose d'intangible ou d'abstrait qui prend une forme physique ou corporelle, la traduction française est « incarnée ».

1.6. Perspective directe et écologique

La deuxième perspective est celle de la perception directe et écologique[39]. Elle a été formulée par le psychologue américain James J. Gibson (1904–1979). Durant la Seconde Guerre mondiale, en 1942, Gibson s'enrôle dans l'Armée de l'Air américaine et devient le directeur du Motion Picture Research Unit, qui est attachée au programme de psychologie de l'aviation. Gibson, qui publie ses recherches après la guerre (1947), a la responsabilité de créer des films et des tests d'aptitudes pour aider le recrutement et l'entraînement de pilotes (Hochberg, 1994, p. 154). Il réalise que la psychologie perceptuelle de l'époque (p. ex. la perspective indirecte), qui propose que la perception est une activité passive durant laquelle le point de vue d'un observateur est fixe, n'est pas en mesure d'expliquer comment un aviateur est en mesure de piloter, car ce dernier doit pouvoir naviguer et réagir rapidement dans un environnement dynamique. Dans *The Senses Considered as Perceptual Systems* (1966), Gibson rejette l'idée que le stimulus est le point de départ du système visuel, car il y a des stimuli qui n'excitent pas les récepteurs. Il écrit « [t]he environment consists of *opportunities* for perception, of *available* information, of *potential* stimuli. Not all opportunities are grasped, not all information is registered, not all stimuli excite receptors » (p. 23). Gibson propose plutôt que c'est l'information contenue dans le réseau optique (*optic array*, voir fig. 1.7) qui excite le système perceptuel (Rogers, B. J., 2017, p. 16). Le réseau optique désigne l'ensemble des faisceaux lumineux qui sont réfléchis dans notre environnement et qui sont captés par nos yeux (Gibson, 1957, p. 289; Wolfe *et al.*, 2019, p. 256). Cette métathéorie est dite « directe », car le système visuel ne construit pas des représentations du monde, comme le proposent les tenants de la perspective indirecte, mais extrait ou « ramasse[40] » plutôt les informations directement du réseau optique (Benjafield *et al.*, 2010, p. 16). Puisque la configuration spatiotemporelle des rayons lumineux et des points de référence du réseau optique change lorsque nous bougeons, le système perceptuel peut aussi extraire des informations de ce

Figure 1.7 : Réseau optique (optic array)

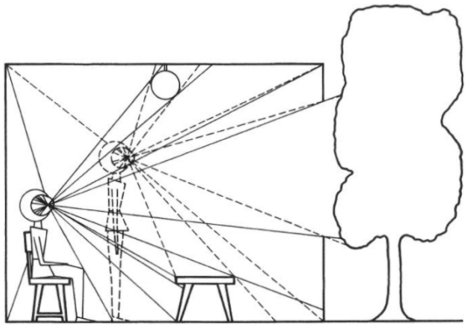


Image prise de Gibson (2015 [1979], p. 65).

[39] En psychologie de la vision, l'adjectif « écologique » peut décrire un phénomène ou une approche qui tient compte de l'influence des facteurs environnementaux sur la perception.

[40] Nous avons utilisé le verbe « ramasser », parce que Gibson utilise l'expression « *information pick up* » pour décrire le fait que le système perceptuel extrait l'information directement du réseau optique (Gibson, 1986 [1979]).

que Gibson appelle le flux optique (appelé *optic flow field*, en anglais) (Benjafield *et al.*, 2010, p. 53-54; Wolfe *et al.*, 2019, p. 256-257). Lorsque nous nous déplaçons en avion ou en voiture, par exemple, le flux optique fait en sorte que les points de référence émanent du *focus of expansion* (*FoE*) (voir fig. 1.8), qui correspond au point de fuite directement devant nous (Sekuler et Blake, 2006, p. 324-325; Wolfe *et al.*, 2019, p. 256-257).

Figure 1.8 : Flux optique et le FoE

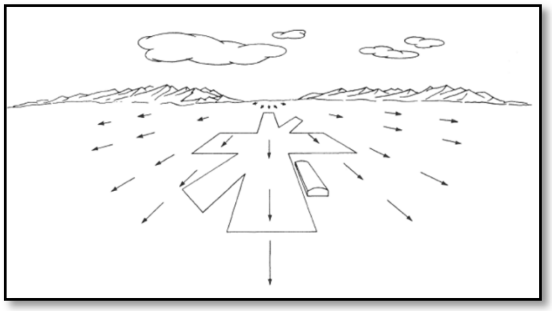


Image prise de Gibson (2015 [1979], p.

Puisque le réseau optique et le flux optique nous offrent une quantité incroyable d'informations qui bougent et changent constamment, les données les plus importantes sont celles qui ne changent pas (Neisser, 1981, p. 214). Puisqu'elles sont stables et constantes, peu importe le mouvement de l'observateur ou ce qu'il fait, ces informations sont appelées des « invariants » et sont qualifiées d'invariables (Goldstein et Cacciamani, 2022, p. 151). De plus, elles sont de haut niveau, alors qu'une sensation est une variable de bas niveau (Luyat et Regia-Corte, 2009, p. 303) qui peut être ignorée par le système perceptuel[41]. Les invariants environnementaux sont le fait que : 1) notre environnement a une atmosphère que nous pouvons respirer, 2) notre environnement permet la locomotion, et 3) il est illuminé et les émanations diffuses de la lumière nous permettent de voir. Finalement, 4) il y a un haut et un bas (Gibson, 1986 [1979], p. 18-19). Il est important de ne pas confondre un invariant avec une « heuristique », qui est un raccourci mental fondé sur des expériences passées, car le taux de fiabilité d'une heuristique varie alors qu'un invariant prédit exactement un événement (Tavris *et al.*, 1999, p. 281; Wolfe *et al.*, 2019, p. 114-115). DeLusia (2007, p. 473), citant Braunstein (2014 [1976]), précise que, même si une heuristique peut induire en erreur, elle augmente l'efficacité du système perceptuel en limitant les options de ce qui pourrait être perçu. En d'autres mots : « An invariant is reliable 100% of the time in predicting a state of affairs that could be perceived; a heuristic, on the other hand, is simply the basis of a good bet » (Cutting, James E et Wang, 2000, p. 1157). Nous reviendrons aux heuristiques au chapitre 7, lorsqu'il sera question de la représentation de phénomènes physiques en animation. Grâce à ces invariants « cinématiques » et transformationnels, l'individu est informé à la fois de ses propres mouvements dans l'environnement et des mouvements autour de lui (Luyat et Regia-Corte, 2009, p. 304). Il n'est plus un spectateur passif qui

[41] Il ne faut pas confondre un invariant de haut niveau avec une fonction cognitive indirecte, car la perspective gibsonienne est directe et ne doit pas dépendre de processus mentaux élaborés.

regarde le monde à travers la fenêtre d'inférences indirectes, il est actif et présent dans un environnement dynamique. La perception est ainsi intimement associée au corps, aux mouvements, aux actions et à l'environnement de l'organisme (Turvey, 2018, p. 371). Gibson (1979) décrit ce système holistique ainsi : « So we must perceive in order to move, but we must also move in order to perceive » (p. 223). Puisque l'environnement joue un rôle capital dans la perception, la perspective gibsonienne est aussi qualifiée d'écologique.

Un des défis de la métathéorie directe est d'expliquer comment nous sommes capables d'identifier les choses présentes dans l'environnement sans avoir recours à des principes cognitifs de haut niveau. Après tout, la reconnaissance d'objets, qui est considérée par plusieurs théories comme étant le but ultime de la perception, doit sûrement avoir recours à des mécanismes indirects, parce que l'identification d'une chose est un processus complexe. Gibson s'attaque à cette question majeure de deux façons. D'abord, il esquive le problème en évitant d'employer des termes comme *meaning* ou représentation, car ces derniers sont associés à la cognition. Deuxièmement, Gibson explique l'identification d'objet en parlant plutôt d'affordances (Rogers, B. J., 2017, p. 20). Il décrit la nature et le rôle d'une affordance ainsi :

> When the constant properties of constant objects are perceived (the shape, size, colour, texture, composition, motion, animation and position relative to other objects), the observer can go on to detect their *affordances*. I have coined this word as a substitute for *values*, a term which carries an old burden of philosophical meaning. I mean simply what things furnish, for good or ill. (Gibson, 1966, p. 285)

Plus tard, il ajoute « [t]o perceive an *affordance* is to detect an environmental property that provides opportunity for action » (Gibson, 1986 [1979], p. 127). Les affordances ne sont pas des propriétés fixes, car elles sont attribuées à la suite d'un processus fluide et écologique qui dépend du rapport entre les caractéristiques de l'objet, la personne, son état et l'environnement dans lequel elle se trouve (Tüscher, 2004, p. 1). Les propriétés d'un objet peuvent ainsi provoquer plusieurs affordances et celles-ci peuvent changer selon les circonstances. Prenons une petite rivière comme exemple. Pour quelqu'un qui a soif, l'affordance de la rivière est « boire ». Pour un marcheur qui souhaite passer de l'autre côté de la rive, l'affordance de la rivière est : « obstacle à franchir ». Pour le coureur des bois finissant un portage avec un canot sur la tête, la rivière signifie « route » ou « déplacement ». Le concept de l'affordance est important, car il souligne le fait que la reconnaissance d'objet est associée à nos actions et à nos comportements (Sekuler et Blake, 2006, p. 209).

Les travaux de Gibson seront cités dans cette thèse pour plusieurs raisons. Premièrement, le cinéma a toujours occupé une place importante dans ses écrits. Il reconnaît dès les années 1940 que le film est un outil expérimental important pour comprendre la perception du mouvement (Gibson, 1947, p. 10)[42] et les phénomènes perceptuels dynamiques (p. 251-254). Il note également qu'il y a des similarités et des différences entre l'expérience cinématographique et la perception écologique. Les différences découlent du fait qu'une personne est libre de bouger et de regarder où elle veut dans des conditions écologiques naturelles. En regardant un film par contre, son attention est contrôlée par le réalisateur (Gibson, 2015 [1979], p. 282). Le fait que Gibson soit un des premiers à s'intéresser aux phénomènes perceptuels fondamentaux associés au cinéma explique pourquoi la perspective écologique est adoptée par les cognitivistes en études cinématographiques, dont Joseph Anderson, qui est à la fois théoricien du cinéma et psychologue de formation (Small, 1992, p. 170). Ce dernier est un fervent tenant de la perspective écologique et œuvre activement pour que les chercheurs l'adoptent pour étudier le cinéma et les arts (Anderson, J., 2013). Nous nous référerons à ses écrits, dont son livre : *The Reality of Illusion: An Ecological Approach to Cognitive Film Theory* (1998), ainsi qu'à deux de ses articles, rédigés avec son épouse, Barbara Fisher Anderson, qui visent à réfuter la théorie de la persistance visuelle (Anderson, J. D. et Anderson, 1993; Anderson, J. D. et Fisher, 1978)[43].

1.7. La perspective computationnelle

La troisième métathéorie de la perception est la perspective computationnelle qui est fondée sur l'idée que le cerveau est essentiellement une machine à traiter de l'information. Puisque le cerveau est une machine, il est possible pour un chercheur de recréer de manière artificielle, grâce à des modèles mathématiques et algorithmiques, les mécanismes neurobiologiques qu'il souhaite étudier. Selon cette métaphore, le cerveau est à la fois le matériel informatique (*hardware*, en anglais), l'unité centrale de traitement (*CPU*[44]) et le disque dur. L'esprit (*mind*) est le système d'exploitation qui est équipé de logiciels (Proffitt et Baer, 2020, p. 80). Les chercheurs qui tentent par exemple de créer des machines intelligentes en ignorant la dimension biologique fondent la discipline de l'intelligence artificielle, un terme qui apparaît

[42] Par exemple, Gibson écrit (1947, p. 10) : « The obvious characteristic which may be possessed by the stimulus material of a motion picture test is movement. It is important to note that two different and distinct kinds of movement-perception may be induced on the screen, movement of objects and movement of the observer himself. Particularly in the latter case, the motion picture yields an enhanced perception of the three-dimensional quality of the space portrayed on the screen ».

[43] Joseph Anderson et Barbara Fisher se marient peu après la publication de leur premier article « The Myth of Persistence of Vision » (Anderson, J. D. et Fisher, 1978). Puisque Barbara prend le nom de famille de son mari, « The Myth of Persistence of Vision Revisited » (1993), qui est la suite de l'article de 1978, est ainsi attribué à Anderson et Anderson.

[44] CPU est l'acronyme pour *central processing unit*, en anglais.

en 1956[45] (Cobb, 2020, p. 261). Pour comprendre le cerveau, les chercheurs peuvent également étudier son langage neuronal et essayer de recréer des modèles algébriques qui reproduisent les procédés neuronaux (Ibid.). Par conséquent, en construisant un ordinateur ou en créant un algorithme qui répliquent un comportement humain ou un processus biologique avec succès, le chercheur est en mesure de mieux comprendre le phénomène qui est répliqué. Thomas Ross, cité par Cobb, résume cette stratégie ainsi : « One way to be relatively sure to understand a mechanism is to make that mechanism[46] » (Cobb, 2020, p. 164-165).

Le fondateur de la perspective computationnelle est David Courtenay Marr (1945-1980). En 1973, ce neuroscientifique et psychologue anglais quitte Trinity College (Cambridge) au Royaume-Uni pour s'installer au Massachusetts Institute of Technology à Boston (MIT). Son objectif est de comprendre le système visuel en créant une machine qui voit (Cobb, 2020, p. 226). Après avoir reçu un diagnostic de leucémie, il s'empresse de rédiger un livre qui résume les idées et concepts qu'il est encore en train de développer[47]. Il meurt à l'âge de 35 ans, mais réussit son objectif. *Vision: A Computational Investigation Into the Human Representation and Processing of Visual Information* (Marr, 2010 [1982]), qui est écrit en moins de deux ans et est publié après sa mort, débute avec le principe qui est au cœur de l'approche computationnelle. Marr répond à la question éternelle : « What does it mean, to see? » (p. 3) en proposant que l'objectif de la vision soit de découvrir et d'identifier les images dans notre environnement (Rogers, B. J., 2017, p. 24). Dans cette optique, la vision est essentiellement une tâche de traitement de l'information qui est associée intimement à des représentations mentales. Celles-ci nous permettent non seulement d'identifier les choses dans notre environnement, mais nous permettent de décider et d'agir (Marr, 2010 [1982], p. 3). Nous reviendrons à l'approche computationnelle au chapitre 7, car ses postulats et méthodes sont employés par les scientifiques pour déterminer comment le système perceptuel décide ce qui est perçu.

[45] Le terme « AI » (*artificial intelligence)* est inventé par John Mcarthy qui l'emploie en 1956 lors d'une conférence à Darthmouth College (Moor, 2006, p. 87).

[46] Aidé par son professeur, Thomas Ross, un pionnier de la neuro-robotique, applique cette stratégie, qui est une des assises de l'apprentissage automatique (*machine learning*, en anglais) en 1933. Dans son article « Machines that Think » (1933), publié dans la revue *Scientific American,* Ross conçoit un « rat robot » qui est en mesure de naviguer un labyrinthe simple en simulant de manière électronique des réflexes conditionnés (Knoll et Gewaltig, 2016, p. 25).

[47] Dans la préface de « Vision », Marr ne mentionne pas qu'il a le cancer. Il écrit plutôt que : « certain events occurred that forced me to write this book a few years earlier than I had planned » (Marr, 2010 [1982], p. xxiii).

Le psychologue canadien Donald O. Hebb[48] (1904-1985) est un autre chercheur qui a influencé l'approche computationnelle. Wilder Penfield (1891–1976) l'invite à l'Institut neurologique de Montréal en 1937 pour évaluer la perte des facultés intellectuelles des patients sur lesquels il opère. Hebb remarque avec étonnement qu'il n'y a que peu ou aucune perte d'intelligence chez ces derniers (Hergenhahn, 2008, p. 609; Leblanc, 2019, p. 587; Masland, 2020, p. 129). Cette observation est importante, car elle remet en cause certaines théories en sciences cognitives[49] qui proposent que chaque fonction mentale, dont la mémoire, est effectuée à un endroit particulier du cerveau. Puisque les facultés mentales des patients de Penfield ont été préservées après avoir perdu une partie de leur cerveau, Hebb propose que nos facultés cognitives ne soient pas « localisées », mais soient plutôt « réparties » (*distributed*, en anglais) dans plusieurs zones cérébrales grâce à un système de neurones qui sera éventuellement appelé un *nerve net* ou réseau neuronal[50]. Un réseau neuronal commence à se former lorsque certaines configurations d'éléments visuels activent en même temps un groupe de neurones. La première fois qu'un cercle orange traverse notre champ visuel, par exemple, trois types de neurones distincts sont activés séparément. Les neurones d'un certain type seraient ainsi activés par la forme circulaire, la couleur orange activerait un ensemble de neurones sensibles à cette couleur, alors que le mouvement stimulerait un dernier groupe de neurones. Plus nous voyons cette combinaison, plus les trois types de neurones sont activés en même temps, et plus la connexion entre les synapses qui les relient est facilitée et renforcée. Le système perceptuel apprend avec l'expérience que, dans certains contextes, le cercle orange en mouvement est un ballon de basketball. Plus le même groupe de neurones est activé par un ballon de basketball, plus la connexion entre ces neurones est renforcée, jusqu'à ce qu'ils forment un réseau neuronal capable d'identifier la configuration rapidement. Les scientifiques résument ce phénomène à l'aide de l'expression : « Neurons that fire[51] together wire together » (Cobb, 2020, p. 213; Masland, 2020, p. 130). Cette plasticité n'est pas limitée au système perceptuel, car ces réseaux opèrent à tous les niveaux cérébraux et nous permettent de nous adapter, d'apprendre et de réorganiser les processus cognitifs après une blessure.

[48] Né en Nouvelle-Écosse, il obtient sa maîtrise à McGill en 1932 et étudie la psychologie pavlovienne. Il poursuit ensuite ses études à l'université de Chicago où il devient un gestaltiste après avoir suivi un séminaire avec Köhler (Hergenhahn, 2008, p. 608).

[49]La phrénologie est un exemple extrême et archaïque d'une théorie « localisée ». Cette théorie, qui est maintenant discréditée, est une croyance populaire et pseudo-scientifique durant la première moitié du XIXe siècle qui propose que les facultés mentales et les traits de personnalité d'une personne se manifestent dans la forme du crâne et des bosses crâniennes d'un individu (Colman, 2015, pp. 574-575 ; VandenBos, 2016, p. 336). Elle peut être décrite comme une théorie localisée, car les facultés mentales ont lieu à des endroits précis du cerveau.

[50] En fait, l'hypothèse initiale de Hebb est plus générale (Masland, 2020, p. 131). Le terme « *network* » est absent de son livre séminal *The Organization of Behavior: A Neuropsychological Theory* (Hebb, 2002 [1949]) et le nom « *net* » n'est mentionné qu'une seule fois pour désigner un « réseau » (p. 73). Hebb parle plutôt d'un *cell assembly* (p. xix) qui est considéré comme la plus petite unité d'un réseau (Masland, 2020, p. 133).

[51] En anglais, le verbe « fire » est utilisé pour décrire le fait qu'un neurone s'active en émettant un signal électrique.

D'après Masland (2020), la mémoire (p. 135-136) et la reconnaissance faciale (p. 127) sont des exemples de fonctions qui sont réparties dans plusieurs régions cérébrales. Le concept du *neural network* a été adopté par les informaticiens en intelligence artificielle, car ce modèle neurologique est similaire à la façon dont un réseau informatique composé de puces interconnectées est construit (Colman, 2015, p. 500).

Les sciences cognitives d'après Merlin Donald (1993, p. 144) peuvent être divisées en deux camps. Le premier accepte le modèle neuronal de Hebb. Le deuxième camp est celui de David Marr et de l'intelligence artificielle. Les deux approches sont différentes, car les modèles employés en intelligence artificielle commencent avec un ensemble de symboles et de catégories que le système doit identifier dans l'environnement. Cette approche indirecte est différente du réseau neural qui ne dépend pas de symboles. Il se construit plutôt de manière directe, heuristique, associative et écologique, car il est formé par une rétroaction environnementale qui ne dépend pas de représentations symboliques (p. 144). Nous verrons au prochain chapitre que les études plus récentes semblent montrer que les fonctions cognitives sont à la fois réparties et localisées. Il semblerait donc que certaines fonctions plus précoces ou élémentaires de bas niveau soient un peu plus *centralisées* tandis que d'autres fonctions de haut niveau sont *réparties*, car elles sont plus complexes et requièrent la « collaboration » de plusieurs zones cérébrales[52]. La perspective computationnelle propose donc qu'un mécanisme ou phénomène visuel puisse être compris en élaborant un modèle algorithmique qui le reproduit ou l'imite. L'approche est scientifiquement rigoureuse, mais l'idée sous-jacente, c'est-à-dire la métaphore du cerveau comme machine, a ses limites et peut mener à de sérieux problèmes.

1.8. Métaphores, simplicité et complexité

L'un des grands défis auxquels nous sommes confrontés dans cette thèse demeure l'explication simple et succincte de principes cognitifs complexes. Une façon de régler ce problème est d'employer des métaphores, car celles-ci permettent d'illustrer l'essence d'un phénomène cognitif sans avoir recours au langage scientifique qui n'est pas toujours facile à comprendre. L'usage de la métaphore est une stratégie efficace, car d'après la théorie de la métaphore cognitive (*Cognitive metaphor theory* [CMT]), le raisonnement et le système conceptuel opèrent de manière métaphorique (Lakoff et Johnson, 1980, p. 195; 1999, p. 3). Puisque la cognition est incarnée et écologique, nous formulons différentes sortes de

[52] En fait, Cobb précise que les termes « *localised* » et « *distributed* » (réparti) peuvent induire en erreur, car « localisation is rarely precise, and distributed functions are also localised to particular networks and cells, even if these may sprawl over the brain » (2020, p. 331). Il est ainsi plus juste de décrire comment une fonction particulière qui est ségrégée s'intègre à l'ensemble du système.

métaphores qui utilisent nos expériences concrètes, notre corps et notre environnement tangible pour ancrer des pensées, concepts et principes abstraits dans la réalité (Lakoff et Johnson, 1999; Madsen, 2016, p. 881). Les métaphores sont ainsi des outils pédagogiques puissants. Elles peuvent toutefois devenir une arme à double tranchant lorsqu'elles sont employées pour expliquer des phénomènes complexes. D'abord, la perspective cognitive produit tellement de modèles et de théories métaphoriques qu'il est difficile de déterminer lesquelles sont valides (Tavris *et al.*, 1999, p. 341). Deuxièmement, expliquer un phénomène à l'aide d'une métaphore est risqué, car celle-ci simplifie à outrance un phénomène complexe (p. 341-342). Finalement, une métaphore peut faire plus de mal que de bien, si elle est fausse. C'est notamment le cas de la théorie de la persistance visuelle qui propose que l'œil opère comme une caméra et que les images que nous voyons au cinéma persistent sur la rétine. Même si cette métaphore est fausse, elle est si simple et élégante qu'il est presque impossible de la réfuter. Les chapitres 3 et 4 seront donc consacrés à démystifier cette métaphore erronée qui est enracinée dans les écrits depuis le XIXe siècle. La métaphore qui compare le fonctionnement du cerveau à celui d'une machine est aussi problématique, car elle est fondamentalement inadéquate pour expliquer un phénomène biologique. Au même titre que la théorie de la persistance visuelle, elle demeure néanmoins attrayante, car elle est simple. Ceci soulève un autre défi associé à l'explication de phénomènes biologiques. Il n'y a pas que les artistes qui cherchent à produire de belles choses. Les scientifiques cherchent eux aussi une beauté dans les théories qu'ils formulent. Les critères utilisés pour juger la qualité d'une théorie visent sa simplicité et son élégance. Cette tendance remonte au Moyen Âge et au principe du rasoir d'Ockham[53], qui est aussi appelé le principe d'économie. Selon ce principe, « les entités (généralement interprétées comme des hypothèses) ne doivent pas être multipliées au-delà de la nécessité (*Entia non sunt multiplicanda praeter necessitatem*), et donc des explications simples doivent être préférées à des explications plus complexes » (Colman, 2015, p. 521).

Un des premiers scientifiques de renom à intégrer l'essence du rasoir d'Ockham est Sir Isaac Newton (1643-1727) qui reformule le principe pour en faire sa première loi de raisonnement philosophique (Ball, 2016). Dans *Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica* (Newton, 2016 [1999, 1726]), il écrit : « As the philosophers say: Nature does nothing in vain, and more causes are in vain when fewer suffice. For nature is simple and does not indulge in the luxury of superfluous causes » (p. 440)[54]. Au fil des ans, le principe

[53] Le rasoir Ockham (parfois écrit « Occam ») doit son nom au philosophe médiéval anglais et frère franciscain William of Ockham (?1285-?1349) (Colman, p. 521). L'encyclopédie encourage l'utilisation de l'épellation « Ockham » plutôt que « Occam », car William tient son nom de famille du village d'Ockham, dans le comté de Surrey en Angleterre (pp. 520-521).

[54] *Principes mathématiques de la philosophie naturelle* est la traduction française de l'œuvre dont la première édition a été publiée en latin en 1687. Bien que *l'ouvrage* ait été traduit en anglais par Andrew Motte en 1729, ce sera la traduction moderne de la troisième édition latine du *Principia* (1726) qui sera citée dans cette thèse (Newton, 2016 [1999, 1726]).

d'économie est remplacé par le « principe de simplicité » et par la maxime « KISS » (*keep it simple, stupid !)* (Terano, 2008, p. 176; Wardrop, 2008, p. 50). Il existe de nombreux dictons en sciences qui expriment l'essence du rasoir d'Ockham, ainsi que la transition subtile de son sens d'économie à un idéal de simplicité. Un des dictons les plus célèbres est celui d'Albert Einstein qui aurait proclamé[55] que : « Everything should be made as simple as possible, but not simpler » (Coen, 2009, p. 1; Tietenberg et Lewis, 2018, p. 399).

Un autre facteur qui s'est greffé au principe est celui de la beauté. L'association entre la beauté, la simplicité et la vérité scientifique forme une trinité séduisante pour le profane, les programmeurs et les mathématiciens (Goucher et Riley, 2009, p. 67). La croyance que les lois naturelles doivent être simples parce que la nature préfère la simplicité peut poser de sérieux problèmes pour la science, car, dans les faits, un bon nombre de phénomènes naturels n'ont pas d'explication simple (Ball, 2016). À la fin de son livre, *What Mad Pursuit : À Personal View of Scientific Discovery* (2008 [1988]), Francis Crick, le codécouvreur de la structure à double hélice de l'ADN, admet que le rasoir d'Ockham est peut-être utile pour la physique, mais avertit que le principe est extrêmement dangereux en biologie, car les phénomènes biologiques sont complexes (p. 138). Ramachandran rapporte également qu'une expression favorite de Crick était : « "God is a hacker", not an engineer » (Ramachandran, 2006, p. xii). Mais que veut-il dire par là ? D'abord, il est vrai que le cerveau et l'ordinateur effectuent le même type de tâches. Ils traitent tous les deux des données, identifient et analysent des modèles, ont une forme de mémoire à court et à long terme et coordonnent des opérations (Dawkins, 2016 [1989], p. 63 et 369). Par contre, les similarités s'arrêtent là, car le cerveau est un organe biologique qui a évolué au cours de cinq millions d'années alors qu'un ordinateur est une machine numérique (Cobb, 2020, p. 5; Gardner, 1985, p. 388). Howard Gardner remarque en 1985 qu'au lieu de découvrir les similarités entre les fonctions cérébrales et l'ordinateur, l'élaboration de modèles computationnels du cerveau au début de la psychologie cognitive n'a fait qu'identifier les différences entre la première génération d'ordinateurs[56] et le cerveau. Il appelle ce phénomène le *Computational Paradox* (p. 384-385). Les chercheurs continuent néanmoins d'employer les ordinateurs, car à ce jour, « the computer has served as the most available and the most appropriate model for thinking about thinking » (Gardner, 1985, p. 385). De plus, les modèles et algorithmes se sont avérés très utiles. Il faut toutefois faire attention, car ces derniers ne produisent qu'une approximation d'un processus cognitif, de la même manière qu'un modèle de prévision météorologique n'est pas la

[55] Selon le site *Quote Investigator,* la citation populaire d'Einstein nous vient de Roger Sessions qui a paraphrasé ses propos dans un article qu'il a écrit dans le *New York Times.* Louis Zukofsky aurait aussi aidé à disséminer la phrase (O'Toole, 2011).

[56] Ces premières machines numériques sont des ordinateurs de type « von Neumann » (Gardner, 1985, p. 385).

météo, mais nous permet de prédire la météo (Proffitt et Baer, 2020, p. 80). Il est donc important de ne pas confondre le modèle mathématique avec le phénomène biologique. Ramachandran (2006, p. xii) observe également que la perception et le cerveau n'ont pas évolué de la même manière qu'un logiciel ou un module informatique est construit ou programmé. En créant une machine ou un système, l'ingénieur a la liberté de remplacer les morceaux qui ne fonctionnent pas parfaitement. Il peut aussi décider de mettre tout le système à jour d'un seul coup en éliminant le superflu et en créant de nouvelles fonctionnalités. Les processus évolutifs sont différents à tous ces égards. D'abord, l'évolution ne peut pas créer de nouvelles pièces pour remplacer celles qui sont devenues obsolètes. Elle doit plutôt réaffecter un mécanisme ou un système existant pour accomplir une nouvelle tâche. John Allman (2000) pense que le système cérébral est similaire à une centrale électrique qu'il a visitée. Puisque celle-ci n'a jamais pu être éteinte, de nouvelles capacités ont été ajoutées et intégrées au vieux système. En biologie, les mutations génétiques causées par des processus évolutifs ne remplacent donc pas les systèmes existants, mais ajoutent plutôt des zones corticales aux zones existantes qui continuent d'acquitter les fonctions essentielles à la survie de l'animal (p. 40-41).

Ceci explique l'expression de Crick, car cette méthode est similaire à celle d'un pirate informatique qui prend contrôle, modifie et exploite un système qui est déjà en place. De plus, l'évolution ne suit pas un plan prédéterminé, car chaque modification au système perceptuel se fait à court terme, à différents moments dans l'évolution, pour résoudre des problèmes distincts (Cobb, 2020, p. 371). Puisqu'il n'y a pas de plan qui coordonne les processus évolutifs et génétiques (Dawkins, 2016 [1989], p. 30), les diverses fonctions et modules cognitifs ont ainsi évolué de manière indépendante et à des rythmes différents. L'odorat, par exemple, a évolué en développant des mécanismes qui sont différents de ceux employés par la vision ou par le toucher. La nature biologique des processus évolutifs ne permet donc pas la rétro-ingénierie promue par l'approche computationnelle (Ramachandran, 2006, p. xii). Puisque la perception est composée de modules et de processus indépendants qui travaillent de concert pour produire une expérience cohérente, Richard Masland (2020, p. 18-19) et Oliver Sacks (2010, p. 104) comparent la perception à un orchestre. Puisque nous estimons que la métaphore employée par Sacks est la plus évocatrice et potentiellement la plus juste, nous la citons intégralement :

> The brain is more than an assemblage of autonomous modules, each crucial for a specific mental function. Every one of these functionally specialized areas must interact with dozens or hundreds of others, their total integration creating something like a vastly complicated orchestra with thousands of instruments, an orchestra that conducts itself, with an ever-changing score and repertoire. (Sacks, 2010, p. 104)

La nature biologique et évolutive de notre organisme explique la structure et la façon dont les informations sont présentées dans cette thèse. Premièrement, puisque la cognition n'est pas régie par un seul « système d'exploitation » comme l'est un ordinateur, il n'y a pas de : « Grand Unified Theory of the brain » (Cobb, 2020, p. 7). Voilà pourquoi notre cadre théorique est constitué de plusieurs perspectives cognitives. Chacune de celles-ci est valide, car elle explique un certain aspect de la perception. Nous verrons à la fin de ce chapitre que la nature hétérogène de la perception explique également la nature hétérogène des douze principes d'animation. Bien qu'il soit dangereux d'employer des métaphores puisqu'elles peuvent parfois être fausses, la structure métaphorique des idées fait en sorte qu'elles sont néanmoins nécessaires à la compréhension. Nous nous efforcerons donc de les employer avec parcimonie et, lorsque nous le ferons, d'expliquer leur structure sous-jacente ainsi que leurs limites.

1.9. Définition de l'animation – art, technique et procédé

Deux grandes tendances émergent dans les écrits lorsqu'il est question de définir l'animation. La première catégorie de définition décrit la technique employée. L'animation est décrite dans *The Complete Film Dictionnary* (1997) comme étant : « [t]he process of photography drawings, puppets, silhouettes or inanimate objects frame by frame through stop-motion photography, with each frame recording a minute progressive change in the subject » (Konigsberg, 1997, p. 14). Cité par Maureen Furniss (1998, p. 4-5) dans *Art in Motion: Animation Aesthetics*, Charles Solomon ajoute que : « …two factors … serve as a basis for a workable definition of animation : (1) the imagery is recorded frame-by-frame and (2) the illusion of motion is created, rather than recorded ». Bien que les définitions axées sur la technique soient justes, elles semblent quelque peu froides et incomplètes, car l'essence de l'art est absente.

La deuxième sorte de définition essaie de remédier à ce problème en décrivant l'effet presque magique qu'a l'animation de conférer de la vie à ce qui est inanimé (p. ex. dessins, marionnettes, objets, etc.). Pour illustrer cette propriété fondamentale de l'art, le sens étymologique du mot « animation » est mis de l'avant. La définition prend alors une forme qui est similaire à la suivante : « The word animation derives from *anima*, meaning "breath" or "soul," and *animare,* "to give life to." Animation creates the *illusion of life* and it does this through movement » (K. M. Thompson, 2012, p. 359, italiques préservés). Il est intéressant de noter que les définitions de ce type sont plus ou moins identiques[57]. De plus, elles ne citent jamais de source bibliographique pour confirmer l'origine étymologique des mots (Horn, 2006, p. 4; Kawin,

[57] Ce qui rend la description de Thompson unique est le fait que le rôle capital du mouvement dans la production d'un mouvement vivant est généralement absent des autres sources.

1992, p. 84). Ces définitions sont néanmoins exactes pour deux raisons. Premièrement, elles reconnaissent que l'illusion de la vie est une des assises de l'animation. Ceci est vital, car après le mouvement apparent, l'animation de l'inanimé est la seconde illusion perceptuelle employée en animation. L'animateur a ainsi le pouvoir de nous convaincre qu'un objet inanimé est vivant. Deuxièmement, en associant le souffle de la vie à l'acte d'animer, cette définition exprime poétiquement le sentiment d'émerveillement et de pouvoir presque divin que toute animatrice éprouve lorsqu'elle voit ses dessins prendre vie.

Est-ce qu'il y a un type de définition qui est meilleur que l'autre ? En fait, il est malavisé de vouloir les opposer, car « [l]'animation est […] à la fois un procédé et un processus de création » (Denis, 2017, p. 6). Les deux définitions sont ainsi valides, car elles décrivent chacune une dimension de l'animation. Nous ajoutons que l'animation est aussi un processus de perception, car l'art dépend de l'illusion de la vie et de l'illusion du mouvement. Le choix de définition (technique ou étymologique) qui est utilisée dans un ouvrage peut révéler la position de son auteur dans un débat que Massuet nomme : « La querelle Donald Crafton/Alan Cholodenko » (2016). Dans son introduction de *The Illusion of Life : Essays on Animation* (1991)[58], le théoricien de l'animation Alan Cholodenko déplore le fait que les études cinématographiques considèrent l'animation comme étant la forme cinématographique la plus basse (p. 9). Il déclare cependant que l'animation n'est pas inférieure au cinéma en PVR, car tout cinéma est, à la base, une forme d'animation. Il écrit : « […] animation film not only preceded the advent of cinema but engendered it » (p. 9). La position de Cholodenko réitère ce que nous avons mentionné plus tôt ; les jouets philosophiques du XIXe siècle occupent une place importante dans l'histoire de l'animation, car ils en sont les précurseurs. De surcroît, si l'histoire du mouvement cinématographique débute avec le mouvement animé du phénakistiscope (fig. 1.6.6), l'animation est le progéniteur du cinéma. Cet avis ne fait cependant pas l'unanimité en études du cinéma d'animation. Dans *Before Mickey – The Animated Film* (1993), Donald Crafton postule que l'animation est un « minor branch of cinema » (p. 4). Crafton reconnaît néanmoins que le cinéma et l'animation ont des ancêtres en commun et que leur « préhistoire » est commune. (Crafton, 1993, p. 6). Par contre, puisque l'animation est une forme de cinéma, son histoire ne peut pas débuter avant celle du cinéma. Il écrit : « One certainty is that animated cinema could not have existed before the cinema came into being around 1895 » (Crafton, 1993, p. 6). Émile Reynaud (1844-1918) peut ainsi être considéré comme un pionnier du cinéma, mais n'est pas « the father of the animated cartoon », car son travail n'a pas influencé les premiers animateurs (1993, p. 6-7). Ce point est particulièrement

[58] Il ne faut pas confondre le recueil d'essais de Cholodenko avec *The Illusion of Life* d'Ollie Johnston et Frank Thomas (1981).

choquant pour Cholodenko qui considère que Reynaud « animated not only the animated film but cinema » (Cholodenko, 1991, p. 9). Finalement, la subordination de l'animation au cinéma fait en sorte que, lorsque nous parlons d'animation, nous parlons nécessairement de cinéma d'animation. D'après Jean-Baptiste Massuet, qui a écrit un excellent article sur le sujet, la querelle entre ces deux chercheurs peut se résumer en une question de primauté, car « chez Crafton, le cinéma est premier, tandis que chez Cholodenko, le cinéma est second » (2016, p. 6). Ce débat fait écho à la théorie introduite par André Gaudreault, Tom Gunning et toute une génération de chercheurs[59] quant à la nature et aux origines du cinéma.

Pour Gaudreault et ces chercheurs, le cinéma est bien plus qu'une invention ; c'est une industrie, un médium d'expression employant un langage qui lui est propre, et une institution culturelle dont l'émergence provoque « le passage à un nouvel ordre des choses » (Gaudreault, 2008, p. 18). Puisque « *le cinéma ne procède pas d'une* "*invention*" » (p. 18, italiques préservés), Edison et les frères Lumière n'ont pas inventé le cinéma au tournant du dernier siècle, mais ont plutôt créé l'appareil cinématographique (p. 16). De surcroît, les premiers artistes à travailler avec ces appareils de base entre 1890 et 1910 ne font pas du cinéma, mais produisent plutôt une « cinématographie-attraction » (p. 14). Ce terme vient du fait que les premiers films, qui sont plutôt des « vues animées » (p. 18), ne font qu'imiter les spectacles vaudevillistes. Ce n'est qu'après cette période de gestation, nommée le « cinéma des premiers temps » (Gunning, 2004, p. 329), que le cinéma, tel que nous le connaissons aujourd'hui, apparaît à partir des années 1910 (Gaudreault, 2008, p. 18). Mais qu'en est-il des origines de l'animation ? D'après Crafton, qui ne distingue pas l'invention de l'appareil de base de l'invention du cinéma, l'animation débute juste avant cette période, durant la seconde moitié des années 1900, avec la sortie de *Humourous Phases of Funny Faces* (Blackton, 1906), de *The Haunted Hotel* (Blackton, 1907) et de *Fantasmagorie* (Cohl, 1908), qu'il considère comme étant le premier film d'animation à part entière (Crafton, 1993, p. 60). Crafton note que l'animation a aussi sa propre période de mûrissement qui, comme le cinéma des premiers temps, est caractérisée par une cinématographie-attraction. Par exemple, la plupart des premiers films d'animation commencent en montrant un artiste (ou juste sa main) qui fait un dessin sur une scène de spectacle. Le dessin terminé, l'artiste ou sa main disparaît du plan et le dessin s'anime. C'est le cas notamment de *Humourous Phases of Funny Faces*, de *Fantasmagorie* et de *Little Nemo* (McCay, 1911). Même si *Gertie*

[59] Les chercheurs présents au symposium « Cinema 1900–1906 » tenu en 1978 à Brighton en Angleterre lors de l'International Federation of Film Archives (FIAF) (Gunning, 2004, p. 329) réalisent qu'il est faux de considérer les films produits avant 1910 comme du cinéma, car ils sont fondamentalement différents de ceux réalisés après cette période (Gaudreault, 2008).

the Dinosaur (McCay, 1914) ne commence pas avec un dessin, le film illustre parfaitement la nature attractive et vaudevilliste des premiers films d'animation, car il montre un dinosaure qui exécute des tours sur une scène de spectacle. Le rôle de la performance en animation est la deuxième notion qui oppose Crafton à Cholodenko. Pour Crafton, « l'animation passe par la dimension performative d'un acte créateur extérieur à l'objet animé, tandis que pour le second, la performativité est intrinsèque à l'animation, il n'est nul besoin d'en faire le sujet de l'œuvre » (Massuet, 2016, p. 8).

Puisqu'il est question d'une querelle opposant deux figures éminentes des études en animation, il est normal de se demander de quel côté nous nous rangeons. En fait, il est peu productif de s'éterniser sur ces différences, car nous croyons, comme Massuet, « [q]ue l'on soit d'accord avec Crafton ou Cholodenko n'a en réalité que peu d'importance, les deux auteurs ne parlant pas le même langage, et ne parlant du même coup pas du même objet » (Massuet, 2016). Nous sommes essentiellement d'accord avec le postulat de Cholodenko : le cinéma est une forme d'animation. Cela dit, n'étant pas convaincus par ses arguments [60] qui nous semblent indûment complexes, nous proposons que l'animation préfigure et incorpore le cinéma en PVR, parce que le cinéma doit tout simplement son existence au mouvement animé, qui est appelé « mouvement apparent » par les scientifiques.

1.10. Entre la mimèsis et l'abstraction

L'historienne et théoricienne Maureen Furniss évite de prendre parti dans le débat entre Crafton et Cholodenko. Dans *A New History of Animation* (2016), elle décrit la contribution de Reynaud à l'animation et souligne le rôle des jouets philosophiques dans l'histoire du médium (Furniss, 2016, p. 23-24). Et alors qu'elle tente de définir l'animation quelques années plus tôt, elle souligne diplomatiquement dans *Art in Motion: Animation Aesthetic* (1998) qu'il est préférable de ne pas opposer l'« animation » et le « live action » (PVR), car les deux termes ne sont pas neutres. Puisque les deux formes de production se chevauchent, Furniss propose de placer toutes les formes de *motion picture production* sur un même continuum qui est basé sur le degré de réalisme des images employées (p. 5). Une version du continuum PVR-animation de Furniss (1998, p. 6) est présentée à la figure 1.9. Nous avons traduit les termes et avons inclus une image qui représente chaque film pour illustrer le degré de réalisme de ce dernier. Les films

[60] Ces derniers s'inspirent de Jacques Derrida (Cholodenko, 2009, p. 4 et 10) et sont fondés sur le fait que l'animation, ou plutôt l'« *animatic* », se situe paradoxalement entre la vie et la mort et que cet état hanté, appelé « *lifedeath* » (2004, p. 102-103) ou « *hyperlifedeath* » (2016, p. 7) est le moteur qui réanime continuellement l'image morte du cinéma (2008; 2014, p. 104).

Who Framed Roger Rabbit (Zemeckis, 1988) et *Mary Poppins* (Stevenson, R., 1964) ont aussi été ajoutés pour offrir d'autres exemples.

Figure 1.9 : Le continuum PVR – animation

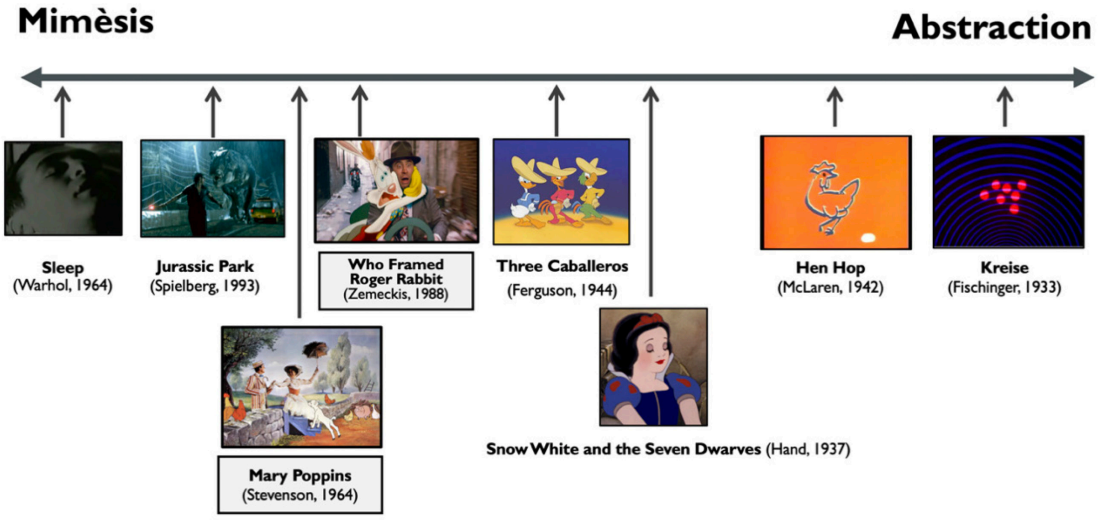


Figure adaptée par l'auteur de Furniss (1998, p. 6)

Les deux extrêmes de ce continuum sont la mimèsis qui est une imitation de la réalité et l'abstraction de l'image (Furniss, 1998, p. 5-6). Il est intéressant de noter que cette caractéristique concorde avec la théorie de Donald, décrite plus tôt, qui propose que tout art débute avec une phase imitative. D'après les critères employés par Furniss, plus un film contient des scènes en PVR, plus le film imite la réalité. Par contre, plus le film contient des scènes animées et plus les images sont abstraites, plus le film est abstrait. *Kreise* (1933) d'Oskar Fischinger est donc une œuvre abstraite alors que *Jurassic Park* (Spielberg, 1993) et *Sleep* (Warhol, 1964), qui est un film de cinq heures montrant un homme en train de dormir, sont des exemples de productions qui imitent la réalité.

Ce continuum est important, car il est un des premiers systèmes de classification en animation qui ne mentionne pas la technique employée. De plus, en plaçant l'animation et le cinéma en PVR sur un pied d'égalité, il désamorce la polémique Crafton-Cholodenko. En dépit de ces mérites, nous croyons qu'il est incomplet, car tout système qui souhaite classifier un film d'animation doit reconnaître non seulement son aspect visuel, mais doit également considérer le type de mouvement qui est employé. Par exemple, les mouvements animés sont-ils saccadés ou fluides, « cartoonesques » ou discrets, réalistes ou stylisés/épurés ? Ces caractéristiques sont cruciales en animation, car elles déterminent le ton d'une action et d'un film (sérieux, humoristique, etc.). Prenons les films *Three Caballeros* (Ferguson et Young, 1945) et *Snow White and the Seven Dwarfs* (Hand, 1938) comme exemples. Selon Furniss, *Three Caballeros*

est plus réaliste que *Snow White*, parce qu'il est une sorte de récit de voyage qui contient des scènes en PVR. Toutefois, si nous jugeons le degré de réalisme des dessins et des mouvements animés, il est clair que *Three Caballeros* est plus cartoonesque et moins mimétique que *Snow White*. La position de *Kreise* par rapport à *Hen Hop* (McLaren, N., 1942) sur le continuum est aussi problématique d'un point de vue cinétique, car, même si les figures sont abstraites, les animations de Fischinger sont un peu plus fluides. Et que faire d'un film comme *Who Framed Roger Rabbit* ? Ses animations sont bien plus éclatées et cartoonesques et donc moins réalistes que celles de *The Three Caballeros*. Par contre, *Who Framed Roger Rabbit* serait plus proche de la mimèsis que *The Three Caballeros* selon les critères de Furniss, car il contient moins de séquences animées.

Puisque nous estimons qu'un système de classification utilisé pour le cinéma d'animation doit absolument considérer la nature du mouvement en plus de la forme, nous avons conçu un schéma qui combine à la fois : 1) le degré de mimèsis graphique de la forme avec 2) le degré de mimèsis ou d'exagération du mouvement (c'est-à-dire sa fluidité et son expressivité humaine). Nous croyons que ce modèle pyramidal sera utile pour les chercheurs cognitifs ainsi que les théoriciens et praticiens du cinéma d'animation. Il sera présenté à la fin de cette thèse, après que tous les principes et concepts qui le constituent auront été décrits. Il existe une dernière définition de l'animation qui mérite d'être examinée, non seulement parce qu'elle nous vient d'un des grands animateurs de l'histoire du médium, mais surtout parce qu'elle exprime en termes presque mystiques la dimension perceptuelle de l'animation. Il s'agit de la définition proposée par Norman McLaren. Bien que nous l'ayons déjà citée au sein de l'introduction, nous nous permettons de la retranscrire à nouveau, car elle est d'une importance capitale à nos propos.

1.11. L'animation selon McLaren

Norman McLaren, cité par Hoffer (1981, p. 5), définit le processus d'animation comme suit :

> Animation is not the art of *drawings*, but the art of *movements* that are drawn. What happens between each frame is much more important than what exists on each frame. Animation is therefore the art of manipulating the invisible interstices that lie between the frames. The interstices are bones, flesh and blood of the movie, what is on the frame, merely the clothing.

La source de la citation est tout aussi mystérieuse que son propos. Dans les écrits anglophones, elle est rapportée par Hoffner (1981, p. 5), qui cite John Halas (1974, p. 97). Il semble par contre que la définition apparaît plus tôt dans les écrits francophones. D'après Hubert Joubert-Laurencin (1997, p. 55) et George Sifianos (1995, p. 66), elle est utilisée en 1957 dans le N°14 de la revue *Cinéma 57* ainsi que dans « Les

cinéastes d'animation face au mouvement » (1965), un article d'André Martin ; deux sources qui n'ont pas été trouvées. Hervé Joubert-Laurencin (1997) croit que la citation s'est ancrée dans les écrits parce qu'elle nous vient du grand animateur, qu'elle est bien formulée (pp. 53-55) et, finalement, parce que : « elle contient en profondeur (ou, comme on dit parfois, "entre les lignes") tous les éléments mythiques de l'image par image ». Joubert-Laurencin n'a pas tort, car cette définition de l'animation est souvent citée par les animateurs et les chercheurs universitaires qui cherchent à décrire la magie du processus.

Mais quels sont ces interstices invisibles mentionnés par McLaren et que veut-il dire par « movements that are drawn » (Hoffer, 1981, p. 5) ? Est-ce que McLaren parle métaphoriquement ou littéralement ? Croit-il être en mesure de dessiner du mouvement ? En 1995, lorsqu'il rédigeait sa thèse doctorale, Georges Sifianos explique qu'il a contacté McLaren pour lui demander de clarifier sa définition et pour qu'il réponde à ces mêmes questions. McLaren lui répond que sa déclaration est métaphorique. Il explique :

> The critical decision which the animator has to make has to be made between the first drawing and the second drawing–just exactly how much *movement* he has to make. (Incidentally, I said "drawings" for a simple rhetorical effect; static objects, puppets and human beings call [sic.] all be animated without *drawings*, but I failed to include them). (Sifianos, 1995, p. 63)

Cette définition de l'animation, axée sur le mouvement, suggère que McLaren a compris que l'animation est une illusion visuelle créée par la distance séparant les objets et leur durée d'affichage d'un photogramme à un autre (Gepshtein et Kubovy, 2007; Miller et Shepard, 1993). McLaren ajoute également : « My main point is that the animator has to do his thinking or feeling *between* making one move and the next move, which usually means *between* one drawing and the next […]. *And that decision is at the heart of animation* » (Sifianos, p. 65, italiques préservés). Il faut noter que la citation de Hoffer inclut la phrase suivante, qui est absente des autres définitions : « The interstices are bones, flesh and blood of the movie, what is on the frame, merely the clothing » (Hoffer, 1981, p. 5). Puisque les interstices décrits par McLaren forment le moteur et le support invisible de l'animation, nous croyons qu'ils sont analogues aux piliers perceptuels de l'animation que nous cherchons à décrire dans cette thèse. L'importance du degré de distance comme étant au cœur de l'animation est un principe qui est connu dans les écrits pratiques en anglais comme étant celui du *spacing* (Whitaker *et al.*, 2018 [2009], p. 42-45). Puisque la distance entre deux images est intimement associée à la dimension temporelle (c'est-à-dire la durée et la cadence), le principe décrivant ce rapport est nommé *timing and spacing* (Williams, R., 2001, p. 35-39). McLaren appelle ce principe le « tempo » dans une série de courts-métrages portant sur

l'animation (McLaren, N. et Munro, 1976-1978). Nous reviendrons à la définition de McLaren, ses cinq films, ainsi qu'au principe du tempo aux chapitres 4 et 7, car ils sont cruciaux à notre compréhension, à la fois pratique et perceptuelle, du mouvement animé.

1.12. Perspective évolutionniste

> One general law, leading to the advancement of all organic beings, namely, multiply, let the strongest live and the weakest die. (Darwin, 2003 [1872], p. 278)

La perspective évolutionniste est née à la suite de la publication de *On the Origin of Species* par Charles Darwin en 1859[61]. La théorie propose que chaque espèce animale, dont la nôtre, est le produit de milliers ou même de millions d'années d'évolution au cours desquelles les gènes, ayant des effets phénotypiques[62] qui aident un organisme à s'adapter à son environnement (p. ex. l'habileté de courir plus vite), survivront en étant transmis à la progéniture de ce dernier. En revanche, les individus ayant des gènes avec des phénotypes qui sont nuisibles ou qui ne contribuent pas à augmenter leurs chances de survie n'auront pas l'opportunité de se reproduire et périront dans un monde dangereux et où les ressources sont limitées (Ramachandran et Blakeslee, 1998, p. 189; Shaffer *et al.*, 2005, p. 58). Suivant la mort de leur hôte, ces gènes disparaissent ainsi du patrimoine génétique d'une espèce. Il faut noter que Darwin modifie et raffine sa théorie sur six éditions du livre en incorporant certains concepts qui ont été formulés par d'autres savants. Par exemple, le concept du *survival of the fittest* qui est inventé par le philosophe Herbert Spencer n'apparaît que dans la cinquième édition (1869) et le mot « évolution » est seulement utilisé huit fois dans la sixième et dernière édition du livre paru en 1872 (van Wyhe, 2020, p. xx). De plus, la théorie évolutionniste de Darwin continue d'évoluer et d'être adaptée par les chercheurs au XXIe siècle. Ces derniers la considèrent comme le fondement biologique de la vie. Richards Dawkins exprime son importance quasi immesurable ainsi :

[61] Darwin travaille depuis plusieurs années sur sa théorie lorsqu'il apprend que le naturaliste, théoricien évolutionniste, et critique social anglais Alfred Russel Wallace (1823-1913) a formulé indépendamment la théorie de la sélection naturelle et s'apprête à la publier. Il contacte Wallace et le 1er juillet 1858, les deux hommes présentent chacun un article scientifique sur la théorie à la Linnaean Society (Forestiero, 2013; Huxley, 2003 [1958], p. 10). L'entente entre les hommes semble courtoise et respectueuse. Au lieu de se battre sur la question de primauté, chacun reconnait la contribution de l'autre. Par exemple, après que Wallace ait publié un livre intitulé *Darwinism* (1889), Darwin proclame : « You should not speak of Darwinism for it can as well be called Wallacism » (Ramachandran et Blakeslee, 1998, p. 189).

[62] Le phénotype est l'effet qu'un gène a sur le corps. Des exemples d'un phénotype sont la couleur des yeux ou des cheveux. Un phénotype peut aussi être une modification qui permet à l'organisme de courir plus rapidement. Ce sont les avantages ou les désavantages conférés par le phénotype et non par le gène lui-même qui déterminent si un gène sera favorisé ou non par la sélection naturelle (Dawkins, 2016, pp. 303-304).

> Darwin's theory of evolution by natural selection is satisfying because it shows us a way in which simplicity could change into complexity, how unordered atoms could group themselves into ever more complex patterns until they ended up manufacturing people. Darwin provides a solution, the only feasible one so far suggested, to the deep problem of our existence. (Dawkins, 2016 [1989], p. 15)

Il précise dans *The Selfish Gene* (2016 [1986]) que le gène est la plus petite unité de la sélection naturelle. Donc, bien que la théorie soit souvent associée à la « survie de l'espèce », c'est la survie du gène et non la survie du groupe ou même de l'individu qui importe à un niveau évolutif. Nous ne sommes ainsi que le véhicule mortel qui transporte nos gènes immortels (p. 44-45).

Il est important d'insister sur l'influence de la perspective évolutionniste, car elle est l'assise des théories contemporaines décrites dans cette thèse. Les sciences de la vision sont imprégnées par des concepts évolutionnistes, parce que, de tous nos systèmes, la perception est celle que nous utilisons principalement pour survivre (Goldstein, 2014, pp. 176-177). Bien que l'être humain ait accès aux informations tactiles (le touché), auditives (l'ouïe), olfactives (l'odorat), et gustatives (le goût), la vision est notre sens dominant. Le système visuel, en collaboration avec le système moteur, doit identifier ce qui est présent dans le champ visuel (prédateurs, proies, obstacles, outils, etc.) pour que nous puissions nous déplacer dans l'environnement et interagir avec les éléments présents dans celui-ci (Pratt *et al.*, 2010, p. 1724). Pour des raisons de survie, la caractéristique visuelle qui attire le plus notre attention n'est pas nécessairement la couleur, la taille, la forme, ou la position d'une chose dans le champ visuel. En fait, le phénomène visuel le plus saillant n'est pas le stimulus lui-même, mais est plutôt une différence dans l'information captée par nos sens. D'après Epley, « [t]his hypersensitivity to difference is built into our being, all the way down to our retinas » (2015, p. 126). Puisqu'un déplacement est détecté lorsqu'il y a un changement dans la position de quelque chose dans le temps, le mouvement est, de tous les stimuli visuels, la différence visuelle qui est la plus saillante d'un point de vue évolutionniste (Park, W. J. et Tadin, 2018, p. 418). Le système visuel a donc évolué pour être hypersensible au mouvement, mais tous les mouvements ne sont pas égaux en perception et en animation.

1.13. Le mouvement animé : une question de survie

Les auteurs de l'article scientifique « It's Alive » (Pratt *et al.*, 2010) identifient deux sortes de mouvements : le mouvement **animé** et le mouvement **inanimé**. Dans le contexte psychologique de leur argumentaire, le mouvement **animé** (*animate movement*) ne désigne pas un mouvement dans un film d'animation, mais décrit les actions produites par une entité vivante. À l'inverse, le mouvement **inanimé** décrit les

déplacements d'une chose sans vie. Qu'est-ce qui distingue les deux types de mouvement ? Le mouvement animé est rapide et imprévisible, car les êtres vivants sont rapides et imprévisibles. Il peut ainsi changer soudainement de direction, sans l'influence de forces externes. Cette capacité suggère que l'objet possède une source d'énergie interne et est doté d'un esprit pour la contrôler. Puisqu'un mouvement animé est délibéré, il peut être décrit comme une action ou un geste, car ces termes suggèrent la sentience, la motivation et l'intentionnalité de l'être qui les a effectués.

Le mouvement inanimé n'a pas les caractéristiques cinétiques d'un être vivant. Ne possédant pas de source d'énergie interne et d'esprit pour contrôler ses déplacements, le mouvement inanimé est constant (sans accélération ou décélération), prévisible et passif, car à moins que des forces externes influencent sa trajectoire (p. ex. le vent, la gravité, la friction, une collision, etc.), un objet inanimé ne changera pas soudainement de direction. Epley (2015, p. 69) note que la vitesse influence le degré d'animisme que nous accordons à une entité. Le mouvement animé est généralement rapide. Donc, bien que les plantes bougent et se tordent de douleur, leurs mouvements sont si lents que même les véganes ne se sentent pas coupables de les manger (p. 69). Dawkins (2016 [1989]) observe cependant qu'une plante semble bouger comme un animal, lorsque ses mouvements sont montrés en accéléré (p. 61). Les mouvements effectués par des êtres vivants peuvent ainsi être qualifiés d'inanimés s'ils ne répondent pas aux critères mentionnés ci-haut. Nous reviendrons aux caractéristiques et aux différences cinétiques des mouvements animés et inanimés tout au long de cette thèse, car elles décrivent les deux types de mouvements produits par l'animateur (Whitaker *et al.*, 2021, p. 29). Le lien entre l'art, la vie et le mouvement est encore plus fort en animation, car l'animateur emploie le mouvement animé pour nous convaincre qu'un objet inerte (dessin, marionnette ou personnage 3D) est vivant. Le cinéma d'animation brouille ainsi notre capacité de différencier l'animé de l'inanimé[63]. C'est tout un exploit, car notre habileté de pouvoir distinguer un objet d'un animal est cruciale pour notre survie et développement (Opfer et Gelman, 2011, p. 213).

Le pouvoir qu'a l'animation de transformer un objet inanimé en un être animé est, après le mouvement, la seconde illusion perceptuelle sur laquelle l'animation repose. Voilà pourquoi Frank Thomas et Ollie Johnston nomment leur magnum opus : *The Illusion of Life* (Thomas et Johnston, 1981). Ce livre est non seulement l'un des premiers ouvrages consacrés à l'animation, il contient également les 12 principes d'animation qui sont les astuces et méthodes développées et employées par les animateurs pour donner

[63] Cette habileté s'appelle en anglais : *the animate-inanimate distinction*.

vie à leurs créations. Puisque la deuxième partie de cette thèse vise à élucider leurs origines perceptuelles, il est important de présenter chaque principe et de décrire le lieu, les individus et les circonstances qui ont contribué à leur élaboration.

1.14. L'origine des 12 principes d'animation

Les 12 principes d'animation sont le fruit d'un processus inductif et de l'expérience collective accumulée par les animateurs et artistes qui travaillent aux studios Disney durant l'âge d'or du studio[64] (des années 1930 à 1940) jusqu'à la fin des années 1970, lorsque les auteurs du livre prennent leur retraite. Bien que les films d'animation produits aux États-Unis avant l'âge d'or soient divertissants, ce sont généralement des courts-métrages simples qui mettent en scène des personnages génériques dont les mouvements manquent de réalisme et d'expressivité. Walt Disney, qui produit des films similaires durant les années 1920, est conscient de ces lacunes (Thomas et Johnston, 1981, p. 74). Il réalise toutefois que ses productions doivent évoluer, car il souhaite produire des longs-métrages afin de pousser les limites artistiques du médium et résoudre ses problèmes financiers (Barrier, 2003, p. 106). Il sait notamment que ses histoires devront être plus complexes[65] et que chaque personnage devra être doté d'une personnalité distincte afin de capter et maintenir l'attention du public pendant 90 minutes (la durée d'un long-métrage). En 1927 par exemple, il s'exclame : « I want characters to be somebody […] I don't want them to just be a drawing! » (Canemaker, 2001, p. 12; Merritt et Kaufman, 2000, p. 28 et 81). La nécessité de mettre en scène des personnages plus complexes n'est pas juste associée à la durée d'un film, mais découle aussi du fait que l'humour physique qui caractérise les films muets devient plus sophistiqué avec la sonorisation du cinéma, car il repose dorénavant sur le dialogue et des mises en situation élaborées (Furniss, 2016, p. 101). Cette approche nouvelle est nommée *personality animation*[66] (Williams, R., 2001, p. 19). Pour atteindre ces objectifs ambitieux, Disney utilise ses courts-métrages, dont ceux de la série *Silly Symphonies,* pour innover et développer les techniques et méthodes dont il aura besoin (Thomas et Johnston, 1981, p. 74).

---

[64] L'âge d'or du cinéma d'animation n'est pas une période fixe. Elle varie d'un studio d'animation à l'autre (p. ex. Fleischer, MGM, Warners, UPA, etc.). L'âge d'or de Disney se conclut au début des années 1940 d'après Don Peri (2010, p. xiii), mais la période continue jusqu'à la fin des années 1950 pour d'autres studios. En fait, Barrier termine *Hollywood Cartoons: American Animation in its Golden Age* (2003) avec la mort de Disney en décembre 1966 (p. 568).

[65] C'est durant cette période que des scénaristes permanents (Ted Sears et Webb Smith) sont embauchés. De plus, le scénarimage est développé, ainsi que la pratique de présenter et de faire approuver de courtes séquences animées réalisées rapidement (*line-test*, en anglais) avant de produire l'animation finale. Ces *line-tests* mettent l'accent sur le mouvement plutôt que sur la forme des dessins (Furniss, 2016, p. 101; Barrier, 2003, p. 101).

[66] Le terme *character animation* est aussi employé (p. ex. Lasseter, 2001), mais l'expression est plus générale, car elle peut tout simplement décrire le fait de devoir animer un personnage et ne souligne pas l'importance de lui donner une personnalité crédible.

Tous ces efforts commencent à porter leurs fruits. *The Three Little Pigs* (Gillett, 1933), qui est le 33e Silly Symphony, est supposément le premier film à employer un scénarimage (Solomon, 2020, p. 45). Il est considéré par plusieurs comme la première démonstration[67] de la possibilité de créer des personnages animés dotés d'une personnalité distincte, en dépit du fait qu'ils soient presque identiques (Adamson, 2005, p. 69; Barrier, 2003, p. 87-91; Peri, 2010, p. xix). Le film est un succès incroyable pour le studio et prouve à Disney qu'il est sur la bonne voie (Madej et Lee, 2020, p. 55). Outre le développement d'histoires et de personnages plus sophistiqués, Disney innove également sur le plan perceptuel en ajoutant du son, de la couleur et de la profondeur de champ à ses films. *Steamboat Willie* (Disney et Iwerks, 1928), qui met en vedette Mickey Mouse, est ainsi le premier film à distribution générale comportant une bande-son (Furniss, 2016, p. 94). Un accord exclusif que Disney signe avec Technicolor IV garantit que son studio sera le seul à produire des animations en couleur pendant deux ans (entre 1932 et 1934). Commençant avec *Flowers and Trees* (Gillett, 1932), il produit treize *Silly Symphonies* en couleurs (Madej et Lee, 2020, p. 48; Thompson, K. M., 2021, p. 118). Puisque l'emploi d'acétates, placés directement par-dessus un décor (*cell animation*), produit une image aplatie, le développement et l'emploi de la caméra multiplan (inventée par William Garrity et représentée à la fig. 1.10) permettent de recréer la profondeur de champ ainsi que la parallaxe, qui sera décrite au prochain chapitre. Ces effets sont illustrés pour la première fois dans *The Old Mill* (Jackson, W., 1937) ainsi que dans *Snow White* (Furniss, 2016, p. 95; Madej et Lee, 2020, p. 59-61; Schickel, 2019, p. 210-212)[68]. Les innovations que Disney et son studio apportent à l'animation sont non seulement d'une nature technologique, elles sont également d'une nature perceptuelle et cognitive, car elles ont été développées pour recréer une expérience perceptuelle mimétique de la réalité (Schickel, 2019, p. 208). Dans ce sens, le *personality animation* est une forme d'imitation, car l'animateur doit comprendre la psychologie humaine, transférer ces notions à ses personnages et les exprimer à travers leurs gestes, leurs comportements, et leurs

Figure 1.10 : Banc-titre d'animation

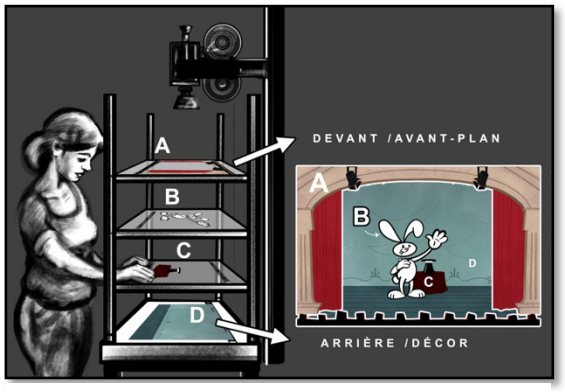


Image créée par l'auteur.

[67] Richard Williams, R. (2001) est d'accord avec cette assertion (p.19), mais précise que *Gertie the Dinosaur* (McCay, 1914) est la première instance de *personality animation* (p. 16). Il note aussi que Félix le Chat est un autre personnage possédant une personnalité distincte (p. 17).

[68] Schickel remarque que ces nouveaux effets de profondeur, produits grâce à une nouvelle technologie, seraient probablement passés inaperçus dans les films subséquents de Disney (2019, p. 212). Cette supposition implique que les attributs réels perdent rapidement leur nouveauté, car, comme c'est le cas avec la perception, nous les tenons pour acquis.

expressions faciales. De surcroît, l'ajout du son, de la couleur et de la profondeur de champ sont des ajouts perceptuels mimétiques qui rendent les films plus réalistes.

Il faut cependant souligner que l'esthétique de Disney n'est pas une imitation exacte de la réalité. Dans un mémorandum envoyé à Don Graham, dans lequel il expose quels aspects de l'art devraient être enseignés à ses employés, Disney explique que l'animation ne devrait pas répliquer la réalité, mais devrait plutôt être une caricature de celle-ci. Il écrit : « The first duty of the cartoon is not to picture or duplicate real action or things as they actually happen – but to give a caricature of life and action » (Hahn et Miller-Zarneke, 2015, p. 65). Il précise cependant qu'avant de caricaturer la réalité, il faut d'abord la comprendre (p. 66). Voilà pourquoi Disney, qui n'a pas terminé ses études secondaires, accorde autant d'importance à l'éducation et aux liens qu'il entretient avec l'institut Chouinard[69], une école d'art professionnelle. Il encourage même les animateurs qu'il emploie à y suivre l'enseignement de Don Graham. Éventuellement, Graham et d'autres instructeurs commencent à offrir des cours aux studios de Disney quatre jours et cinq nuits par semaine (Solomon, 2020, p. 38-39).

L'objectif de Walt Disney est ainsi de créer des animations et des films qui n'essaient pas de répliquer exactement la réalité, mais génèrent plutôt une illusion crédible de cette réalité (Tibbetts, 2015, p. 32), une caricature de celle-ci (Peri, 2010, p. 217; Thomas et Johnston, 1981, p. 65-66). Durant ces années de formation, d'innovations et de développement, un noyau d'artistes expérimentés se forme. En 1940, un comité spécial, appelé le Animation Board, est établi pour aider à la gestion du département d'animation (p. ex. embauche, licenciement, formation d'employés, etc.). Dix ans plus tard, ce comité est constitué de neuf superviseurs de l'animation (*supervising animators*) permanents qui, en plus de leurs tâches administratives, exercent une influence sur la direction artistique des productions. Ces derniers sont : Les Clark, Wolfgang Reitherman, Eric Larson, Ward Kimball, Milt Kahl, John Lounsbery, Marc Davis, ainsi que les deux auteurs de *The Illusion of Life* : Thomas et Ollie Johnston (Deja, 2015). Disney nomme ce groupe les Nine Old Men, un clin d'œil aux juges de la Cour suprême américaine de Théodore Roosevelt (Canemaker, 2001, p. 5-6; Thomas et Johnston, 1981, p. 159-160). Bien que les 12 principes d'animation aient été raffinés et codifiés par les Nine Old Men, ce sont leurs mentors[70] qui ont découvert les principes

[69] Suivant la Seconde Guerre mondiale, les frères Disney aident l'institut Chouinard financièrement. De surcroit, après que sa directrice, Nelbert Chouinard, ait subi un accident vasculaire cérébral, ils sauvent l'école de la faillite. Grâce à leur aide, l'institut devient éventuellement le California Institute for the Arts (CalArts) (Hahn et Miller-Zarneke, 2015, p. 438-440), dont les formations en animation sont reconnues mondialement.

[70] Les mentors des Nine Old Men sont: Vladimir Tytla, Grim Natwick, Norman Ferguson, Hamilton Luske et Fred Moore (Canemaker, 2001, p. 2).

qui les sous-tendent. Les premières itérations de ces principes sont formulées lorsque la première génération d'animateurs expérimentés du studio partage ses connaissances avec les artistes juniors qui travaillent sur les courts-métrages mettant en vedette Mickey Mouse, Pluto et Donald Duck (Barrier, 2003, p. 141-142). Les origines des 12 principes ont pris racine dans le contenu des documents rédigés, dans les formations données par Art Babbitt et Don Graham ainsi que dans les conseils prodigués par les mentors aux Nine Old Men[71]. Pendant leur longue carrière d'animateurs, Frank Thomas et Ollie Johnston, aidés par leurs collègues, raffinent les principes d'animation. Employant une méthode inductive, leur objectif est de régler des problèmes perceptifs et de découvrir les principes perceptuels qui leur permettront de créer à l'écran l'illusion caricaturale de la vie telle que décrite par Disney. Bien qu'ils ne soient pas des savants, ils opèrent comme des scientifiques qui, procédant par essais et par erreurs (Thomas et Johnston, 1981, p. 27), traitent chaque film, chaque plan, chaque mouvement animé comme une expérience réalisée dans le laboratoire le plus créatif du monde : les studios de Walt Disney. Thomas et Johnston forment à leur tour les nouvelles générations d'animateurs, dont Brad Bird[72], qui passent par le studio. En 1977, après la sortie de *The Rescuers*, les deux hommes prennent leur retraite en tant qu'animateurs, mais leur carrière continue. Quatre ans plus tard, ils publient *The Illusion of Life* (1981). Ce livre séminal préserve une histoire peu connue qui représente un patrimoine artistique et culturel important. Les 12 principes font partie de cet héritage.

1.15. Catégorisation des principes d'animation

L'art de faire bouger des choses et leur donner de la vie est capital en animation, mais un film est bien plus que la somme de ses parties cinétiques. D'autres tâches doivent ainsi être accomplies par des artistes et techniciens exerçant des métiers spécialisés. Donc, à moins de travailler seule sur un film d'auteur, l'animatrice commerciale n'a pas à écrire le scénario, n'est pas responsable du montage, encore moins de l'apparence (*design*) des personnages qu'elle anime[73]. Sa seule tâche est d'animer. Elle doit néanmoins

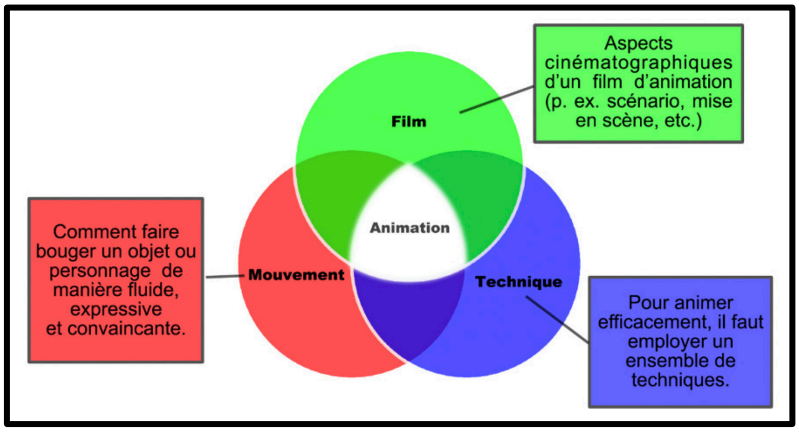
[71] Des retranscriptions de ces activités sont reproduites dans *The Illusion of Life* (Thomas et Johnston, 1981, p. 545-561).

[72] Brad Bird les remercie et leur rend hommage en leur donnant des caméos dans deux films qu'il réalise : *The Iron Giant* (1999) et *The Incredibles* (2004).

[73] Ces tâches sont accomplies respectivement par la monteuse, la scénariste et le *character designer*.

être familière avec un bon nombre de notions cinématographiques, car celles-ci ont un impact significatif sur la qualité de son travail. Par exemple, une connaissance de la mise en scène peut aider l'animatrice à maximiser la clarté et l'effet des gestes et des performances qu'elle produit. Puisque les auteurs du *Illusion of Life* cherchent à formuler des principes qui traitent de tous les aspects d'une animation, il est possible de regrouper les 12 principes selon trois facettes interconnectées et parfois indissociables d'une production animée. Représentées et décrites à la figure 1.11, nous proposons que ces facettes soient : 1) le mouvement, 2) la technique et 3) le cinéma.

Figure 1.11 : Les trois facettes des principes d'animation



Ce diagramme a été créé par l'auteur.

Pris dans leur ensemble, les principes d'animation représentent une codification visuelle de la *personality animation* (Furniss, 2016, p. 102). Ils reflètent également l'objectif de Walt Disney de créer des animations et des films qui n'essaient pas de répliquer exactement la réalité, mais plutôt de créer une illusion crédible, une caricature de celle-ci. Par conséquent, les principes qui portent sur le mouvement visent à créer des animations fluides, convaincantes et expressives. Par exemple, le premier principe d'animation, *squash and stretch*, dicte qu'il faut étirer un objet lorsque ce dernier accélère, et l'écraser lors d'un impact pour que son mouvement soit fluide et expressif (Thomas et Johnston, 1995, p. 47-51). L'objectif des principes techniques est de familiariser l'animatrice avec les meilleures méthodes utilisées pour produire ses animations. Par exemple, *solid drawing* (principe n° 11) présente le type dessin qui s'anime le plus facilement, et *straight ahead action and pose to pose* (principe n° 4) décrit les deux façons d'animer une scène. Les derniers types de principes sont d'une nature cinématographique, car ils adressent le fait qu'une animation est aussi un film. Il faut ainsi tenir compte des notions relatives à la réalisation, l'histoire, au montage, au design, à la mise en scène, à la cinématographie, etc. Cette catégorie est probablement la plus vague des trois, car les auteurs cherchent à décrire succinctement comment diverses notions éclectiques et complexes peuvent influencer et bonifier un mouvement et une performance. Présentés dans l'ordre établi par *The Illusion of Life* (Thomas et Johnston, 1995, p. 47-69), les 12 principes et leurs catégories respectives figurent au tableau 1.1. Nous avons également noté dans quels chapitres chacun des principes sera abordé.

Tableau 1.1 : Application des 12 principes d'animation

Principes	Mouvement	Technique	Cinéma	Chapitres
1 – *Squash and Stretch*	X	X		5
2 – Anticipation	X	X	X	7
3 – *Staging*	X	X	X	7
4 – *Straight Ahead Action and Pose to Pose*		X		–
5 – *Follow Through and Overlapping Action*	X	X		7
6 – *Slow In and Slow Out*	X	X		5 et 7
7 – *Arcs*	X	X		6 et 7
8 – *Secondary Action*	X	X	X	7
9 – *Timing*	X	X		5, 6 et 7
10 – Exagération	X	X	X	5, 6 et 7
11 – *Solid Drawing*		X		2 et 6
12 – *Appeal*	X	X	X	6 et 7

Il faut préciser que notre catégorisation n'est pas définitive. Par exemple, l'emploi de formes géométriques en animation (*solid drawing*) est d'abord une technique, car le conseil relève du dessin. Cependant, nous pourrions soutenir que le principe relève du mouvement, car des formes simples s'animent plus facilement.

1.16. Les 12 principes d'animation

Avant de présenter les 12 principes d'animation, il est important de mentionner que *The Illusion of Life* (Thomas et Johnston, 1981) demeure le premier et un des seuls ouvrages à les décrire en détail. De plus, malgré le statut légendaire des principes et du livre qui les a codifiés, les définitions y sont parfois vagues et ésotériques. Il est ainsi nécessaire de se référer à d'autres sources pour des explications supplémentaires (Becker, 2017; Besen et Hallett, 2008; Jones, A. et Oliff, 2007; Lasseter, 1987; Williams, R., 2001). Ces ouvrages sont souvent d'une nature pratique ou pédagogique plutôt que savante. Conséquemment, les informations sont parfois présentées sans référence bibliographique et, lorsqu'une source est citée, celle-ci est prise d'un site Web populaire. Le fait que ces sites ne soient pas savants ne diminue pas nécessairement la qualité de leur contenu[74]. Effectivement, la meilleure description des 12 principes selon nous est une série de vidéos réalisées et animées par l'animateur Alan Becker (2017), disponibles sur le site YouTube à l'URL suivant : https://youtu.be/uDqjIdI4bF4[75]. Bien que nous ne

[74] Par exemple, une des versions les plus concises des principes est celle de l'animatrice Nataha Lightfoot, qui les a paraphrasés dans un article numérique dont la page web n'existe plus. Il semble cependant que Frank Thomas et Ollie Johnston aient aimé son travail de synthèse, car ses descriptions sont retranscrites sur le site officiel du duo (https://frankanollie.com/PhysicalAnimation.html), ainsi que dans le livre de Jones et Oliff (2007).

[75] Nous recommandons au lecteur de visionner les vidéos explicatives mentionnées dans cette thèse, car celles-ci illustrent des phénomènes visuels qui sont difficilement décrits en mots. Toutes ces vidéos sont listées en annexe. Vous pouvez également consulter la liste d'écoute YouTube au lien suivant : https://youtube.com/playlist?list=PL1vuNtOaHr-PD3N2yQauYPIJCn9RgaC7D.

dressions qu'un portrait rapide de chaque principe, des explications et descriptions détaillées seront fournies lorsque les origines cognitives d'un principe seront décrites dans des chapitres ultérieurs de la présente thèse. Nous utiliserons l'appellation anglaise de chaque principe, car les traductions françaises sont parfois inadéquates[76].

Principe nº 1 – Squash and Stretch (Compression et étirement)

Un degré accru de fluidité et d'expressivité cinétique[77] est atteint lorsqu'un objet s'étire lors d'une accélération (ou d'un mouvement rapide) et se compresse lors d'un impact (Thomas et Johnston, 1995, p. 47-51). Ce principe sert à donner l'illusion du poids et du volume du personnage lorsqu'il bouge (Jones, A. et Oliff, 2007, p. 289; Lightfoot, 2002). Le degré de flexibilité d'un objet est déterminé par la matière dont il est censé être constitué et par la vitesse à laquelle il se déplace. Il est important de ne pas déformer l'objet à outrance et de maintenir le volume de la forme initiale lorsqu'elle est étirée ou aplatie (Furniss, 2016, p. 102). Le style d'animation influence aussi la flexibilité et la rigidité de l'objet ou du personnage qui est animé. Les *cartoons* américains des années 1930 et 1940 emploient énormément ce principe, alors que l'animation limitée des années 1950 évite de l'utiliser (Beckerman, 2003, p. 181). Nous verrons au chapitre 5 que le *squash and stretch* est probablement le principe le plus polyvalent en termes perceptuels. Il rend l'animation plus fluide en réduisant l'espace qui sépare chaque position d'un objet en mouvement, et représente les stries, qui sont un phénomène visuel réel.

Principe nº 2 – Anticipation

Pour permettre au spectateur de bien suivre et de bien comprendre une série d'actions, chaque mouvement majeur doit être précédé d'un mouvement précis qui anticipe l'action principale (Furniss, 2016, p. 102; Thomas et Johnston, 1981, p. 51-53). Ce mouvement anticipatoire va dans le sens opposé au mouvement principal (Besen et Hallett, 2008, p. 130; Williams, R., 2001, p. 274). Ce principe important sera décrit en détail lorsqu'il sera question de la physique newtonienne et de l'attention au chapitre 7.

Principe nº 3 – Staging (Mise en scène[78] ou mise en relief)

D'après Besen et Hallett (2008, p. 226), le but du *staging* est de s'assurer que tous les éléments d'une action, d'un plan, d'une scène, ou d'une séquence soient conçus et disposés pour s'assurer que le *story*

[76] Les seules traductions trouvées sont sur les sites de l'ONF (Thornhill, 2015) et de Wikipédia (Tartalacitrouille, 2009).

[77] Il est important de préciser que tous les principes portant sur le mouvement ont pour objectif de produire un mouvement fluide et réaliste dans le style de Disney.

[78] *Staging*, qui désigne « the manner in which a play is presented » en anglais se traduit par « mise en scène » (Antidote, 2022t).

point (Thomas et Johnston, 1981, p. 53) soit communiqué clairement. Le *story point*, qui peut être traduit par le « but narratif » ou « l'intention narrative », peut prendre plusieurs formes (p. ex. atmosphérique, cinétique, émotionnel, informatif, etc.), car chaque élément de chaque action, plan, ou scène peut être utilisé pour illustrer les intentions de la réalisatrice. Par exemple, l'objectif d'une scène peut être de faire peur au spectateur en utilisant des sons et décors menaçants, alors que le but d'un plan peut être d'illustrer un mouvement corporel important en cadrant le personnage de la tête aux pieds. Pour s'assurer que l'intention narrative du plan ou de la scène soit claire, Thomas et Johnston (1981, p. 56) suggèrent qu'il ne faut pas montrer plus d'une action à la fois et qu'il faut présenter les actions en silhouette. Le *staging* et les notions qui y sont apparentées seront examinés plus en détail au chapitre 7 lorsqu'il sera question de l'attention.

Principe n^{o} 4 – Straight Ahead Action and Pose to Pose (Toute l'action d'un coup/Partie par partie)

Puisque le *straight ahead action and pose to pose* est un conseil pratique qui décrit deux manières d'animer un personnage, il ne sera pas abordé dans cette thèse. Nous le présentons néanmoins, car il nous permet de définir certains termes techniques importants qui seront employés tout au long de ce travail. Dans un premier temps, l'animatrice peut produire un mouvement du début à la fin, en réalisant les poses d'une animation les unes après les autres de manière séquentielle (Thomas et Johnston, 1981). Le *straight ahead* est employé pour animer une marionnette réelle et d'autres matériaux devant ou sous une caméra (p. ex. pâte à modeler, papiers découpés, écran d'épingles, etc.). L'animatrice anime directement son personnage en commençant par la première pose et en finissant avec la dernière image de l'action. La technique du *pose to pose* (partie par partie) consiste d'abord à subdiviser une action en sections importantes (p. ex. le début, le milieu et la fin d'un geste). Chacun de ces moments est représenté par une image clé ou une pose-clé (appelée *key frames* ou *key poses*, en anglais). Puisque le mouvement produit par peu d'images est saccadé (voir chap. 4 et 5), l'animatrice doit connecter les pose-clés en ajoutant des images intermédiaires appelées intervalles (*in-between*, en anglais)[79]. À moins d'animer des effets spontanés, comme des flammes, la plupart des productions commerciales (en 2D ou 3D numérique) emploient la technique du *pose to pose*, car elle permet de planifier les actions méticuleusement et de s'assurer que le volume des objets demeure constant tout au long d'une animation. De surcroit, l'animation partie par partie facilite le travail à la chaîne, car une fois qu'un animateur en chef (*lead*

[79] La signification de ces expressions varie. Par exemple, Beckerman utilise *extremes* (positions extrêmes) pour désigner les moments-clés (*key frames*) où l'action change de manière importante (2003, p. 177-178). Pour Thomas et Johnston (1981), toutefois, *key pose/frame* et *extreme* sont des synonymes (p. 241).

animator) a complété les images clés d'un mouvement, il peut confier la réalisation des poses ou des dessins intermédiaires à un intervalliste (*in-betweener*).

Principe nº 5 – Follow Through and Overlapping Action (Continuité du mouvement initial et chevauchement de deux mouvements consécutifs)

D'après Thomas et Johnston (1981), le principe d'animation nº 5 – *follow through and overlapping action* a été formulé pour régler un problème de physique identifié par Disney. Ce dernier était perturbé par le fait que les personnages animés avaient tendance à s'immobiliser d'un coup. Le mouvement ne semblait pas naturel, car d'après Disney, cité par Thomas et Johnston (1981) : « Things don't come to a stop all at once, guys; first there's one part, then another » (p. 59). Les animateurs durent donc trouver des moyens de rendre le mouvement plus fluide. La solution, découverte par Norm Ferguson au début des années 1930 (Barrier, 2003, p. 75-76), est de s'assurer que les différentes parties d'un corps (dont les membres, les cheveux, les vêtements, et les accessoires) se déplacent à des vitesses différentes. De cette manière, les mouvements de certains éléments continueront de bouger après que la partie centrale du corps se soit arrêtée. Par exemple, si le personnage est un lapin ou un chien qui s'arrête subitement, ses oreilles continueront de bouger dans la direction du mouvement avant de s'immobiliser (Whitaker *et al.*, 2018 [2009], p. 61). Puisque le *follow through and overlapping action* est un conseil pratique qui explique comment de vrais phénomènes physiques doivent être représentés en animation pour être convaincants, nous reviendrons à ce principe au chapitre 7 lorsque nous présenterons les trois axiomes de Newton et discuterons du réalisme en animation.

Principe nº 6 – Slow In and Slow Out (Ralentissement en début et en fin de mouvement – amorti)

Lorsqu'un objet commence à bouger, son mouvement doit accélérer. À l'inverse, un objet doit décélérer lorsqu'il s'arrête. Une action sans accélération et décélération est perçue comme étant robotique ou comique. Comme pour le principe précédent, *slow in and slow out* s'explique en grande partie par la physique newtonienne. Plus de détails seront néanmoins fournis lorsque le *timing* (principe nº 10) et le tempo de McLaren seront décrits aux chapitres 5 et 7.

Principe nº 7 – *Arcs* (Trajectoires arquées)

Toute action naturelle doit suivre une trajectoire arquée ou circulaire, similaire à celle d'une pendule, car il n'y a que les mouvements robotiques qui vont en ligne droite. Ce principe est basé sur l'observation des mouvements biologiques arqués, tel le mouvement des bras, des jambes et de la tête (Beckerman, 2003,

p. 176-177; Jones, A. et Oliff, 2007, p. 290; Lightfoot, 2002; Thomas et Johnston, 1981, p. 62-63). Nous reviendrons à ce principe aux chapitres 6 et 7, lorsqu'il sera question du mouvement animé, du mouvement biologique et de la physique. Nous verrons notamment que les études scientifiques corroborent ce principe, car elles confirment le fait que nous associons les mouvements courbés à des entités animées alors que les mouvements rectilignes sont associés aux mouvements inanimés (Opfer et Gelman, 2011; Troje et Basbaum, 2008).

Principe nº 8 – Secondary Action (Détails secondaires en mouvement)

Furniss décrit ce principe succinctement comme étant une action secondaire qui met l'accent sur l'action principale (2016, p. 102). Ce principe est un exemple de l'infusion du *personality animation* dans un mouvement, car le fait d'ajouter un mouvement secondaire transforme un mouvement potentiellement générique en une action qui révèle la personnalité du personnage. Au niveau cognitif, ce principe repose aussi sur le fait que la différence est le percept le plus saillant. Un cycle de marche ordinaire devient ainsi plus intéressant après que l'animateur ait ajouté une action secondaire, car la monotonie du mouvement est brisée et l'état émotif du personnage est révélé. D'après Thomas et Johnston (1981), « Secondary Action will add richness to the scene, naturalness to the action, and a fuller dimension to the personality of the character » (p. 64). Ils spécifient cependant qu'avant d'ajouter le mouvement secondaire, il faut s'assurer que le mouvement principal fonctionne (p. 64). Les origines cognitives de ce principe ne seront pas examinées en détail, car elles relatent de la performance et des émotions, deux sujets qui ne sont pas traités dans cette thèse. Nous reviendrons toutefois au *secondary action* lorsqu'il sera question du *staging* (principe nº 3) et de l'attention perceptuelle au chapitre 7.

Principe nº 9 – Timing (Cohérence physique et cohérence théâtrale)

Thomas et Johnston (1981) décrivent le principe du *timing* ainsi : « [t]he number of drawings used in any move determines the amount of time the action will take on the screen » (p. 64). Généralement, plus il y a de dessins ou de poses dans un mouvement, plus ce dernier est lent. À l'inverse, réduire le nombre d'intervalles accélère le mouvement, car la distance entre les intervalles augmente. Thomas et Johnston précisent que le *timing* et la vitesse ont une dimension émotionnelle importante. Les mouvements plus lents sont typiquement plus tristes et les mouvements plus rapides peuvent sembler plus décisifs et violents (p. 64-65). Le *timing* est le fondement de tout mouvement apparent. Il est responsable de la fluidité du mouvement apparent et est au cœur de la cadence, du concept du tempo de Norman McLaren, et de la représentation de la physique en animation. Nous y reviendrons donc aux chapitres 4, 5 et 6.

Principe n^{o} 10 – Exaggeration (Exagération)

L'interprétation la plus simple de ce principe est qu'un mouvement animé doit être exagéré pour être fluide, crédible et expressif, mais plusieurs animateurs – dont John Lasseter (1987), les auteurs de *The Illusion of Life* (Thomas et Johnston, 1981) et Alan Becker (2017) – croient que le principe de l'exagération joue un rôle important dans tous les autres principes d'animation. Par exemple, si une balle de racquetball traverse l'écran en rebondissant partout, il faut exagérer la compression et l'étirement de ses mouvements (principe n^{o} 1) pour suggérer sa plasticité et sa vitesse (Todd et Warren, 1982). L'ampleur d'une action doit également être exagérée en ajoutant un mouvement qui anticipera le geste principal (voir principe n^{o} 2). Puisqu'un bon nombre de ces principes peuvent et doivent être exagérés pour créer la représentation caricaturale de la réalité tant prisée par Disney, l'effet de ce principe sera noté tout au long de cette thèse et sera examiné en détail aux chapitres 6 et 7.

Principe n^{o} 11 – Solid Drawing (Dessin en volume)

Ce principe recommande à l'animateur de développer ses habiletés en dessin, car d'après Marc Davis, un des Nine Old Men cité par Thomas et Johnston (1981) : « [d]rawing is giving a performance. An artist is an actor who is not limited by his body, only by his ability and, perhaps, experience » (p. 66). De plus, il est recommandé d'animer des formes géométriques simples, car celles-ci s'animent facilement et permettent de bien illustrer le volume et le poids des choses tout en suggérant la tridimensionnalité de l'espace (Furniss, 2016, p. 102). Beckerman suggère de dessiner les choses comme si elles étaient formées de morceaux de glaise (2003, p. 91). Pour suggérer le mouvement, le poids, la vie et le dynamisme de la forme en mouvement, les actions et les parties du corps doivent préserver un équilibre asymétrique. Thomas et Johnston sont ainsi à la recherche d'une forme qui : « […] was still flexible, possessed strength without rigidity […]. We needed a shape that was a living form ready to move » (Thomas et Johnston, 1981, p. 67). Même si ce principe est un conseil technique portant sur le dessin animé, nous verrons aux chapitres 2 et 6 que la perception a plus de facilité à détecter des formes géométriques simples et que celles-ci ont un attrait universel.

Principe n^{o} 12 – Appeal (Attrait)

D'après Furniss, le principe du *appeal*, que nous avons traduit par « attrait », dicte que l'animateur doit développer des personnages charismatiques (2016, p. 102). La description fournie par Johnson et Thomas est toutefois un peu plus vague, car selon eux le *appeal* : « […] meant anything that a person likes to see, a quality of charm, pleasing design, simplicity, communication, and magnetism. Your eye is drawn to the

figure that has appeal, and, once there, it is held while you appreciate what you are seeing. » (Thomas et Johnston, 1981, p. 68). Ils associent directement ce principe à celui de l'exagération, car une caractéristique doit être accentuée pour être saillante. Conséquemment, un vilain doit être encore plus méchant et un bébé doit être encore plus adorable en matière d'actions, d'apparence et d'expressions faciales pour qu'ils soient intéressants (Becker, 2017; Lasseter, 1987; Thomas et Johnston, 1995, p. 68). Les origines cognitives du *appeal* ne seront pas examinées directement, car le principe est vague et mobilise un ensemble de phénomènes hétéroclites, dont les émotions et la narration. Cela dit, l'attrait ou la saillance perceptuelle de certains stimuli seront abordés lorsqu'il sera question de l'exagération et l'attention visuelle aux chapitres 6 et 7.

Comme nous l'avons mentionné dans le paragraphe précédent, il est impossible d'aborder les mécanismes cognitifs associés à chacun de ces principes pour les raisons suivantes : d'abord, nous souhaitons répondre à des questions fondamentales au médium. Les phénomènes qui nous intéressent sont donc ceux qui touchent au mouvement apparent. Plus particulièrement, nous cherchons à expliquer dans un premier temps : 1) les causes du mouvement apparent, 2) les facteurs qui influencent sa fluidité, et 3) les phénomènes qui déterminent si un mouvement est jugé animé (vivant) ou inanimé, dans le sens psychologique du terme. Par conséquent, les principes du *straight ahead action and pose to pose* (n° 4) du *solid drawing* (n° 11), et du *appeal* (n° 12) ne seront pas examinés en détail. De plus, aborder tous les principes est un projet bien trop ambitieux pour une thèse doctorale, car certains concepts et phénomènes perceptuels nécessitent des explications neurologiques qui dépassent le champ de cette thèse. De surcroît, chaque principe requiert sa propre explication scientifique. Conséquemment, les phénomènes visuels qui expliquent la compression et l'étirement (principe n° 1) ne sont pas les mêmes que les mécanismes cognitifs expliquant le *staging* (principe n° 3). Pourquoi est-ce le cas ? Chaque principe est régi par un phénomène particulier, car le phénomène perceptuel ou cognitif auquel il est associé a évolué de manière indépendante. Dans ce sens, tout comme il n'y a pas de « Grand Unified Theory of the brain » (Cobb, 2020, p. 7), il n'y a pas de grande théorie qui puisse expliquer le fonctionnement de tous les principes d'animation dans leur ensemble. Cela dit, la perception est un ensemble de procédés biologiques, électrochimiques et cognitifs complexes qui travaillent de concert, comme un orchestre symphonique (Masland, 2020, p. 18-19; Sacks, 2010, p. 104). Puisque les principes d'animation reflètent ce système, ils contribuent à l'expérience cinématographique de manière complémentaire et holistique. Ils doivent donc être combinés et harmonisés pour produire le meilleur résultat. Mais avant de décrire l'influence de ces phénomènes perceptuels de haut niveau, il faut commencer par comprendre la lumière et le fonctionnement de l'œil.

CHAPITRE 2

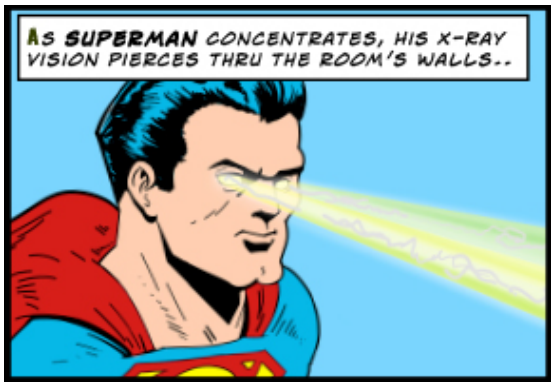
Vision et illusion

> "As a rule, [Watson]" said Holmes, "the more bizarre a thing is the less mysterious it proves to be. It is your commonplace, featureless crimes which are really puzzling, just as a commonplace face is the most difficult to identify." (Doyle, 1976, p. 33)

Alors qu'un des objectifs du chapitre précédent était de répondre à la question : « comment pensons-nous percevoir ? », ce chapitre répond à la question : « comment voyons-nous ? ». Puisque nous n'avons qu'à ouvrir les yeux pour voir le monde, nous tenons ce processus instantané pour acquis et présumons qu'il est simple. Cependant, comme Sherlock Holmes l'observe ci-haut dans *The Red-Headed League*, ce sont souvent les phénomènes qui nous semblent les plus banals qui sont réellement les plus complexes et intrigants. C'est le cas de la perception, qui est le produit d'un système de mécanismes physiologiques et de procédés cognitifs complexes, interconnectés et parfois même peu compris par la science.

Comme nous l'avons vu au dernier chapitre, la nature de la perception est un sujet qui intéresse, fascine et divise les penseurs, philosophes et chercheurs des XIXe et XXe siècles. Mais les débats cherchant à élucider les mécanismes fondamentaux régissant la vision remontent à l'Antiquité. Un premier groupe de penseurs, dont Platon, Euclide, Empédocle, Ptolémée, et plus tard Léonard de Vinci [1] (Ackerman, 1978, p. 127; Livingstone, 2014 [2002], p. 12), croient en la théorie de l'émission. Selon cette théorie naïve, une sorte de feu ou des émanations sortent de nos yeux et sondent l'environnement (Winer et Cottrell, 1996, p. 137) de la même manière dont les dauphins et les chauves-souris perçoivent leur environnement grâce aux sons qu'ils émettent[2]. La théorie de l'émission évoque aussi la façon

Figure 2.1 : Rayons X Superman



Texte cité de et Image inspirée par *Action Comics* n° 20 (Siegel, J. et Shuster, 1940).

[1] De Vinci mentionne la théorie de l'émission dans ses notes en 1490. Selon Ackerman (1978), de Vinci, ayant lu un peu plus sur le sujet, ne fait plus mention de la théorie deux ans plus tard en 1492. Il cite plutôt l'explication plus plausible de Ḥasan Ibn al-Haytham (p. 127-128).

[2] L'écholocation, qui est aussi appelée *biosonar* en anglais, permet à un animal de percevoir son environnement quand la vision ne fonctionne pas (p. ex. dans le noir ou dans un environnement aquatique aux eaux troubles). L'animal peut localiser un objet en trois dimensions en mesurant le délai temporel entre le moment où il émet un son et le moment où le son revient (Jones, 2005, pp. R484-R485).

dont Superman émet des rayons X à l'aide de ses yeux afin de voir à travers les objets (voir figure 2.1). Le deuxième groupe de penseurs croit, comme nous le savons aujourd'hui, que l'œil est passif et ne fait que recevoir les émanations ou stimuli visuels du monde externe (Ackerman, 1978, p. 114; Livingstone, 2014 [2002], p. 12). C'est le mathématicien, astronome et physicien arabe Hasan Ibn al-Haytham qui note, grâce à des observations scientifiques autour de l'an 1 000 A.E.C, que la lumière entre dans l'œil (Livingstone, 2014, p. 12). Malgré le fait que la théorie de l'émission soit fausse, des recherches démontrent que les enfants ainsi que certains adultes éduqués[3] croient encore que l'œil émet de l'énergie pour voir (Gregg *et al.*, 2001; Winer et Cottrell, 1996; Winer *et al.*, 2002, p. 417). L'emploi de principes naïfs, similaires aux croyances antiques ou médiévales, sera un des sujets traités au chapitre 7, car ces idées incorrectes influencent le réalisme et la nature des mouvements en animation.

Avant de présenter les concepts, les études et les théories en psychologie associés directement à la perception du mouvement animé, il est nécessaire de commencer cette section avec un survol des mécanismes physiologiques élémentaires nécessaires à la vision. La nature de la lumière sera d'abord présentée. Nous suivrons son chemin de l'environnement jusqu'à la rétine de l'œil. De la rétine, nous procéderons jusqu'aux voies ventrales et dorsales. Ces deux systèmes gèrent respectivement la forme et le mouvement, qui sont les grandes assises sur lesquelles cette thèse repose. Nous verrons que : « l'ensemble du système visuel peut être considéré comme une longue série de filtres, avec chaque étape du système étant chargée d'extraire un aspect particulier du monde visuel et de passer cet aspect à l'étape suivante » (Wolfe *et al.*, 2015, p. 56). Bien que ces mécanismes biologiques et psychophysiques soient quelque peu techniques, il est important d'offrir une description sommaire de leur fonctionnement, car ils forment la base des notions plus avancées impliquées dans la perception du mouvement animé.

Un des défis majeurs soulevés par les questions posées dans ce travail est le fait que la perception n'est pas un phénomène simple ou homogène. Par conséquent, pour expliquer un seul phénomène qui est gouverné par un système différent, il faut décrire les règles qui lui sont particulières. Ces explications peuvent être parfois complexes et dépasser le cadre de cette thèse. Il faut aussi préciser qu'il existe plusieurs aspects de la perception qui ne sont pas encore compris par les scientifiques. Par exemple, bien qu'il y ait plus d'une trentaine de types de cellules dans la rétine, les chercheurs ne connaissent que la

[3] Un nombre important d'étudiants collégiaux, par exemple, croient et continuent de croire en la théorie de l'émission même s'ils sont exposés à des faits qui indiquent que la théorie est fausse (Gregg *et al.*, 2001; Winer *et al.*, 2002, p. 423). Winer et Cottrel (1996, p. 138) précisent cependant que la croyance naïve en la théorie de l'émission a tendance à diminuer avec l'âge.

fonction d'une dizaine de celles-ci. De surcroît, il n'est pas rare qu'énormément de recherches doivent être menées pour élucider un seul phénomène. Puisque cette thèse vise à faire le pont entre l'animation et les sciences de la vision, mais ne cherche pas à procurer un portrait exhaustif de la perception, certains principes ou phénomènes ont été omis parce qu'ils n'aident pas notre compréhension du mouvement animé. D'autres notions ne seront pas abordées, parce que la science n'a pas encore été en mesure de les expliquer ou parce que leur nature neurobiologique ou psychophysique est tout simplement trop complexe à expliquer dans le cadre de ce travail. Il est néanmoins important de rendre certaines notions accessibles pour les artistes, chercheurs et pédagogues dans le domaine du cinéma d'animation.

2.1. Fiat Lux – La lumière

Le soleil, agissant comme un « radiateur céleste » brûlant à 5 800 K[4] à sa surface (Warrant et Johnsen, 2013, p. R990), émet des radiations électromagnétiques. Ces différentes formes d'énergie sont regroupées en fonction de la longueur de leurs ondes (mesurée en nanomètres) sur le spectre électromagnétique. La lumière, les rayons X, les ondes radio et le wifi sont ainsi des formes de radiations électromagnétiques (Wolfe *et al.*, 2019, p. 34) qui voyagent en fonction d'une fréquence donnée (voir fig. 2.2). De manière générale, la fréquence, mesurée en hertz (Hz), désigne « le nombre de fois qu'une onde se répète en une seconde » (Colman, 2015, p. 295). 1 Hz représente ainsi un cycle, ou une instance, par seconde (VandenBos, 2016, p. 178). Plus une onde est courte (p. ex. les rayons X), plus sa fréquence est élevée, et plus une onde est longue (p. ex. micro-ondes ou ondes radio), plus sa fréquence est basse. Les ondes solaires et cosmiques traversent l'espace jusqu'à ce qu'elles arrivent à la planète Terre. Certains éléments de notre atmosphère absorbent les rayons ultraviolets (ondes courtes)[5] et les rayons infrarouges (ondes longues) (Warrant et Johnsen, 2013, p. R990). L'énergie

Figure 2.2 : Les types de radiation électromagnétique

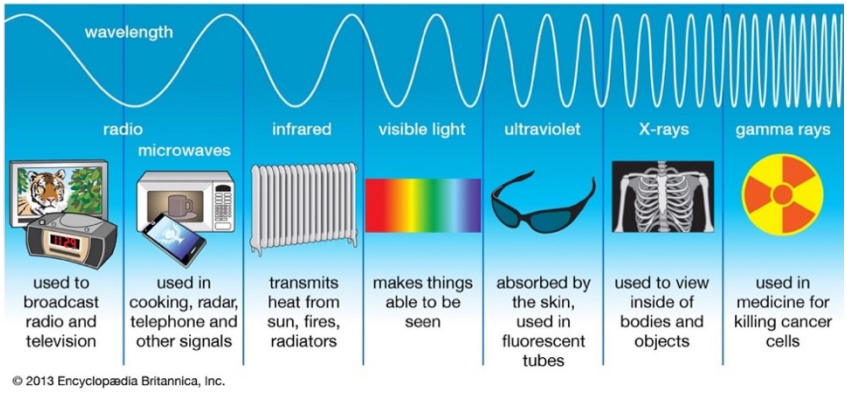


Image prise de la version Web de l'encyclopédie Britannica (s. d.).

[4] Pour obtenir des degrés Celsius (°C) à partir de degrés Kelvin (K), il faut soustraire 273,15. En d'autres mots : °C = K − 273,15.

[5] La couche d'ozone, par exemple, absorbe les rayons UV.

qui n'est pas absorbée et dispersée traverse l'atmosphère et continue sa route jusqu'à nos yeux. Mais nous ne percevons pas toutes les ondes. Par exemple, nous ne voyons pas les ondes ultraviolettes, même si celles-ci nous donnent un coup de soleil. Et à moins de porter des lunettes infrarouges, nous ne voyons pas les ondes infrarouges qui émettent de la chaleur (Gibson, 2015 [1979], p. 51). Conséquemment, bien que nous baignions dans toutes sortes de rayons électromagnétiques provenant du cosmos, du soleil et de nos outils technologiques (p. ex. radio et internet sans fil), il n'y a qu'une toute petite tranche de ces fréquences qui est visible à l'œil nu. La lumière que nous percevons est appelée le spectre visible, car elle désigne « la partie du spectre électromagnétique auquel est sensible l'œil humain » (Taillet *et al.*, 2018, p. 684). Il est estimé que la gamme du spectre visible se situe approximativement entre 380 – 400 nm[6] (violet) et 700-780 nm (rouge) (Honkavaara *et al.*, 2002, p. 505; Taillet *et al.*, 2018, p. 684; Tovée, 1995, p. 455). La lumière, qui est composée de photons, peut parfois être décrite ou comprise soit comme une onde ou comme une particule (Wood et Hétu, 2009, p. 86)[7]. Puisque cette dualité est déconcertante, ce texte, ainsi que les ouvrages sur la perception (p. ex. Wolfe *et al.* [2019]), décrit la lumière plutôt comme une onde pour éviter un degré de complexité quantique (Wolfe *et al.*, 2009, p. 34).

2.2. L'œil, la vision et les étapes antérieures de la perception

La lumière de notre environnement entre d'abord dans le corps en traversant la cornée de nos yeux. Les photons lumineux peuvent passer à travers la cornée, parce qu'elle est transparente. Voilà pourquoi elle est décrite comme une fenêtre donnant sur le monde (Wolfe *et al.*, 2019, p. 37). Les faisceaux lumineux atteignent ensuite l'iris. Cette partie colorée de l'œil est un muscle au centre duquel il y a un trou noir appelé la pupille (voir fig. 2.3). La quantité de lumière qui entre dans l'œil est contrôlée par l'iris, qui règle le degré d'ouverture de la pupille. La lumière passe dans le trou de l'iris (pupille) et franchit le cristallin, qui contrôle la mise au point (*focus*). La sclère, quant à elle, est le blanc des yeux. La lumière traverse alors l'humeur vitrée, un liquide

Figure 2.3 : L'œil - vue frontale

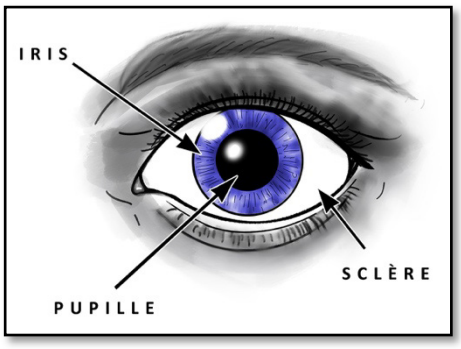


Image créée par l'auteur.

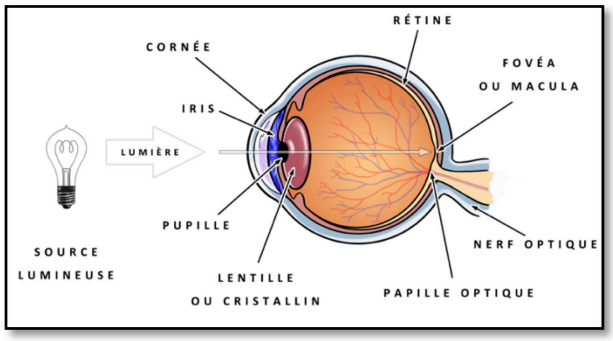
[6] nm: nanomètre.

[7] D'après Ryer (1997, p. 5), cette dualité peut s'expliquer par le fait que les ondes plus courtes, comme les rayons X, ont tendance à se comporter comme une particule, alors que les ondes plus longues (p. ex. ondes radios) se comportent comme une onde. Puisque la lumière a une longueur d'onde intermédiaire qui se situe entre les rayons X et les ondes radio (voir figure 2.2), elle se comporte parfois comme une onde et parfois comme un flot de particules.

transparent qui remplit la partie la plus volumineuse de l'œil (Wolfe *et al.*, 2019, p. 38). Les faisceaux qui n'ont pas été perdus durant le voyage[8] arrivent finalement sur la rétine (voir fig. 2.4).

Richard Gregory remarque que l'œil opère essentiellement comme une caméra durant ces stages préliminaires de la vision (2015 [1997], p. 2). Il faut souligner que des comparaisons de ce type sont problématiques, car elles mènent à des interprétations incorrectes au cinéma, notamment en ce qui a trait à la théorie de la persistance visuelle. Par conséquent, il faudrait plutôt dire que c'est la caméra qui imite le fonctionnement de l'œil et non l'inverse. Par exemple, la quantité de lumière qui entre dans un œil ou dans une caméra est contrôlée par l'iris de l'œil et l'iris de la lentille de la caméra. La quantité de lumière qui est admise et le degré d'ouverture de la lentille déterminent la qualité de la mise au point ainsi que la netteté de l'image finale. Lorsqu'il fait sombre, l'œil et la caméra doivent laisser entrer le plus de lumière possible. Dans ces conditions, les pupilles se dilatent automatiquement et le photographe doit ouvrir l'iris de la caméra. Nous avons ainsi plus de chance de voir dans l'obscurité, mais la distance focale [9] et la netteté des images perçues ou photographiées sont réduites. À l'inverse, la pupille se contracte pour éviter que nous soyons aveuglés lorsque le degré de luminosité augmente. Trop de lumière forcera aussi le photographe à fermer la lentille de son objectif pour éviter de surexposer la pellicule ou le capteur. Dans les deux cas, le fait d'avoir plus de lumière passant à travers un plus petit trou augmente la distance focale et la netteté des images (Wolfe *et al.*, 2019, p. 38). Une autre similarité entre les deux systèmes est que chaque point de notre champ de vision tombe sur un point précis de la rétine comme si celle-ci était une pellicule photographique ou le capteur d'une caméra numérique[10]. Malgré tous ces parallèles, les similarités entre le système optique d'une caméra et la vision humaine s'arrêtent à cette étape, car à partir du moment où la lumière frappe

Figure 2.4 : L'anatomie de l'œil (coupe verticale)



Créée par l'auteur, cette illustration est basée sur les figures trouvées dans Ireland et Tenenbaum (2008, p. 239) et Wood *et al.* (2009b, p. 87).

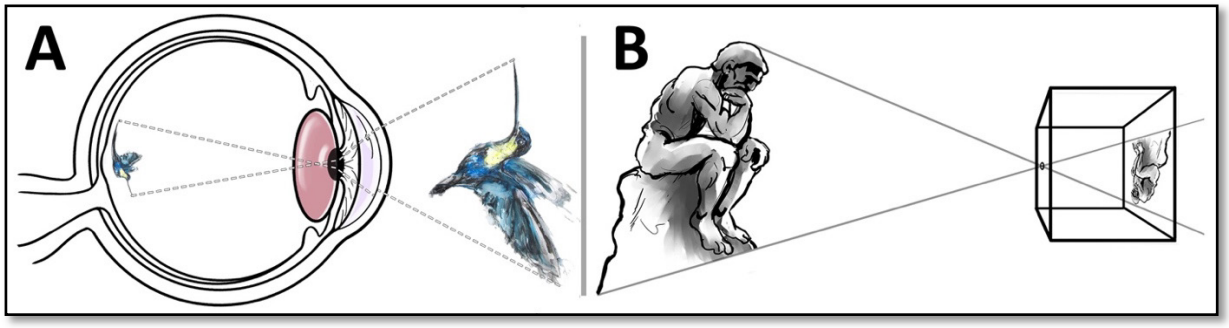
[8] Selon Wolfe, Kluender, Levi *et al.* (2019, p. 38), la moitié de la lumière qui arrive à la cornée est perdue dans l'humeur vitrée.

[9] La distance focale est : « La distance entre le centre de la lentille et l'un de ces foyers » (Taillet *et al.*, 2018, p. 225). Plus la distance focale est élevée, plus les choses éloignées sont nettes.

[10]Nous verrons prochainement que la « résolution » de la vision humaine n'est pas répartie également à travers l'image.

la rétine, des mécanismes perceptifs transforment la vision en perception. Il sera important d'insister au courant de cette thèse sur le fait que la perception ne cherche pas à recréer une image interne qui est une copie des informations optiques captées par les photorécepteurs de la rétine. La perception résulte plutôt de procédés biochimiques et perceptifs qui filtrent et interprètent les informations captées par les photorécepteurs de la rétine pour former une impression subjective de l'environnement. Un des premiers exemples d'une différence entre l'image optique et la perception est le fait que nous ne voyons pas notre environnement inversé même si les informations visuelles arrivant sur la rétine sont inversées et à l'envers (voir 2.5A), de la même façon que l'image obtenue grâce à un sténopé est inversée de haut en bas et de gauche à droite (voir 2.5B).

Figure 2.5 : Informations visuelles inversées sur la rétine



Les deux images ont été réalisées par l'auteur. Le dessin à gauche s'inspire d'une figure de Rosenzweig, Breedlove et Watson (2005) trouvée dans Wolfe, Kluender, Levi *et al.* (2009, p. 31).

James J. Gibson (2015 [1979]), le fondateur de la perspective écologique (voir chap. 1), décrit une autre différence importante entre la caméra et la vision. Il observe que la prise de vue d'une caméra est statique et passive, alors que l'œil et sa lentille ne sont que des morceaux d'un système perceptuel qui explore activement le champ visuel à la recherche de disparités visuelles, de mouvements et d'autres stimuli qui attirent notre attention (p. 207). Les différences entre les deux systèmes ne s'arrêtent pas là. En fait, tous les phénomènes qui seront décrits à partir de ce moment illustreront le fait que la perception est le résultat d'une série de processus neurobiologiques et cognitifs plus complexes, plus fascinants et plus étranges que la simplicité optique d'un appareil photographique. Gregory résume ce point ainsi : « It is the uncamera-like features of eyes and brains that most interest us here » (2015 [1997], p. 2).

2.2.1. La rétine

La rétine[11] peut être décrite simplement comme : « la membrane du fond de l'œil qui contient les cônes et les bâtonnets, et sur laquelle l'image rétinienne est projetée » (Wood et al., 2009b, p. 88). Avant de procéder, il est important d'insister sur le point suivant. Comme la citation précédente l'indique, les scientifiques utilisent le terme « image rétinienne » pour désigner les informations visuelles brutes qui, transportées par les photons, tombent sur la rétine. Le terme « image rétinienne » est toutefois problématique en études cinématographiques, car il renforce la théorie de la persistance visuelle qui repose sur l'idée que la rétine est un écran de cinéma sur lequel chaque photogramme est affiché. Puisque les images rétiniennes ne sont pas visibles et la rétine ne participe pas à la perception du mouvement cinématographique, nous utiliserons le terme « image rétinienne » avec parcimonie. Les pages suivantes viseront à démanteler la théorie de la persistance rétinienne en expliquant le rôle de la rétine et des cellules qui la composent dans la perception. La rétine est une membrane fine composée entièrement de photorécepteurs, de neurones et de cellules (bipolaires et ganglionnaires) (Ireland et Tenenbaum, 2008, p. 244) qui sont réparties sur trois couches principales. La première couche est composée des photorécepteurs, la deuxième est constituée de cellules bipolaires et de cellules horizontales, et la dernière couche regroupe les cellules ganglionnaires et amacrines (Schwartz, Bennett Lowell et Krantz, 2019, p. 63). Ces trois niveaux (figure 2.6) sont séparés par deux couches synaptiques qui permettent la communication entre les neurones. Les photons lumineux doivent traverser toutes ces couches avant d'être captés par les photorécepteurs qui sont sur la dernière couche de la rétine et qui sont orientés vers le cerveau plutôt que vers la lumière[12] (Ireland et Tenenbaum, 2008, p. 244). Ici, les photorécepteurs

Figure 2.6 : Trois couches de la rétine

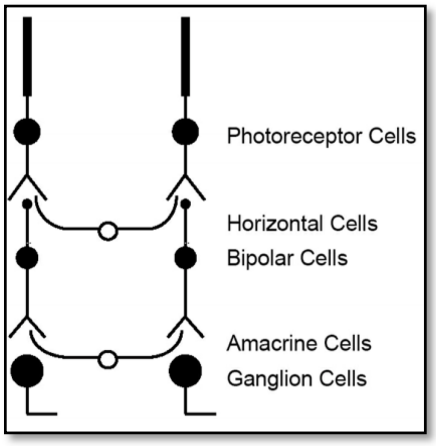


Image prise de Masland (2020, p. 68).

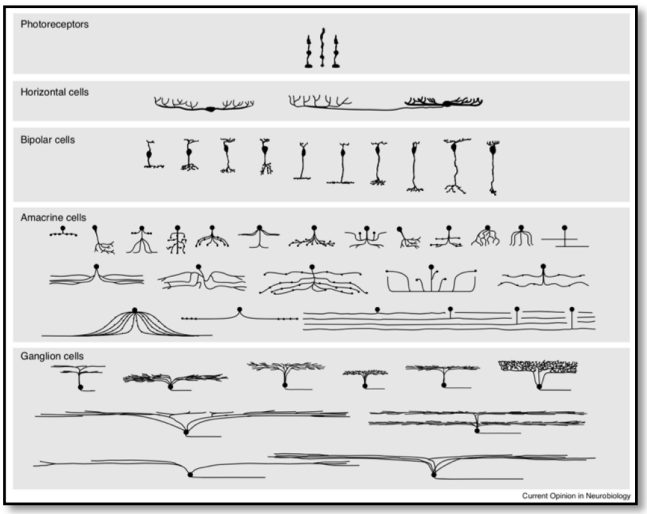
[11]Puisque la rétine a l'apparence d'un filet fragile, les savants l'ont nommé « rétine » parce que le mot *rete* désigne un filet de pêche en latin (Sekuler et Blake, 2002, p 50).

[12] Le fait contre-intuitif que les photorécepteurs soient complètement à l'arrière de la rétine, alors qu'ils sont les premières cellules à capter la lumière, donne à la rétine une structure qui semble être à l'envers. En biologie, cette configuration anatomique, présente dans les yeux de la plupart des mammifères, est appelée : « rétine indirecte » (Ireland et Tenenbaum, 2008, p. 244).

convertissent[13] l'information fournie par la lumière en signaux électrochimiques que le cerveau peut interpréter (Wolfe *et al.*, 2019, p. 38).

Les informations captées par les photorécepteurs sont envoyées aux cellules bipolaires qui les transmettent aux cellules ganglionnaires rétiniennes. Les cellules ganglionnaires envoient les signaux au cerveau à travers le nerf optique (Schwartz, Bennett Lowell et Krantz, 2019, p. 64). Mais tout ceci est une simplification d'un processus moins linéaire, plus complexe et qui fonctionne grâce à des voies neuronales qui opèrent en parallèle et à des vitesses différentes[14]. Par exemple, avant d'être envoyée au cerveau, l'information visuelle passe par environ 13 voies neuronales, situées entre l'intérieur de la rétine et les cellules photoréceptrices, et est traitée par 29 types de cellules amacrines et ganglionnaires (Masland, 2020, p. 70). De surcroît, chaque rétine contient environ 1 250 000 cellules ganglionnaires, soit 1 % du nombre total de photorécepteurs (Wolfe *et al.*, 2019). Avant les années 2000, les chercheurs pensaient qu'il n'existait qu'un nombre limité de cellules, mais des scientifiques, dont ceux au laboratoire de Richard Masland, découvrent plus d'une soixantaine de types de cellules dans la rétine mammalienne dans les dernières années (Masland, 2012a, p. 266). La figure 2.7 illustre la diversité et la quantité de cellules rétiniennes. Bien que chacun de ces types

Figure 2.7 : Diversité des cellules rétiniennes



Quelques exemples de la soixantaine de cellules contenues dans la rétine. Image prise de Masland (2001, p. 86).

[13] Ce processus de conversion est appelé la transduction, qui est « la conversion d'énergie d'une forme à une autre par un transducteur » (Colman, 2015, p. 777).

[14] Les informations captées au centre de la rétine, appelée la fovéa (voir section 2.2.2), semblent être acheminées au cerveau 30 millisecondes après les informations venant de la périphérie (Masland, 2017, p. R303).

de cellules devrait détecter un aspect important du champ visuel pour des raisons évolutionnistes (p. ex. luminosité, couleur ou mouvement), la fonction de la plupart de celles-ci demeure un mystère[15].

Pour éviter de se perdre dans cette complexité rétinienne, seuls les cônes et les bâtonnets seront décrits de la manière la plus simple dans les pages suivantes. Mais, avant de procéder avec ces descriptions, il est important de revenir sur un point critique, soit la croyance populaire selon laquelle les rayons lumineux captés par nos yeux forment une suite d'images photographiques sur la rétine et que ces images rétiniennes sont transmises au cerveau (Gibson, 2015 [1979], p. xiv, 53-53). Cette croyance est fausse ; il n'y a jamais d'image visible sur la rétine. La perception est un phénomène complexe qui débute par la transduction de photons lumineux en signaux électrochimiques. Les informations du champ visuel sont psychophysiques et électrochimiques, mais ne sont jamais visuelles. La théorie de la persistance rétinienne, qui repose sur l'idée que les images d'un film sont affichées et restent sur la rétine, comme si celle-ci était un écran cinématographique, est donc fondamentalement fausse. Nous continuerons d'insister sur ce point au chapitre suivant, car la persistance rétinienne est une vieille théorie entrelacée avec l'histoire du cinéma et l'histoire des sciences de la vision.

2.2.2. Les cônes et les bâtonnets

> […] it's manifest that the Sun's Light is an heterogeneous Mixture of Rays (Newton, 2016 [1730], p. 63).

La lumière visible pure nous paraît blanche, mais il suffit de passer un faisceau lumineux à travers un prisme pour réaliser qu'elle est composée des couleurs principales du spectre visible[16] (Conway, 2009, p. 274). Cette tranche du spectre est la lumière qui illumine le monde et lui donne sa couleur. Nous interprétons ces différentes longueurs d'onde comme des couleurs ou teintes[17] qui vont du rouge (ondes longues) au violet (ondes courtes). La lumière a aussi une luminance ou un degré de luminosité. L'évolution

[15] Nous savons par exemple que les cellules amacrines ont diverses fonctions (Masland, 2012b). Elles sont sensibles à la direction d'un stimulus (Masland, 2020, p. 50) et participent à la communication entre les neurones (Schwartz, Bennett Lowell et Krantz, 2019, p. 63), mais pourquoi possédons-nous autant de types (29) de cellules amacrines ? Richard Masland, le chercheur qui a posé cette question, croit que : « The answer must be that there is much more processing in the retina than we had thought. […]. If amacrine cells are so diverse, the messages must also be diverse » (Masland, 2020, p. 70).

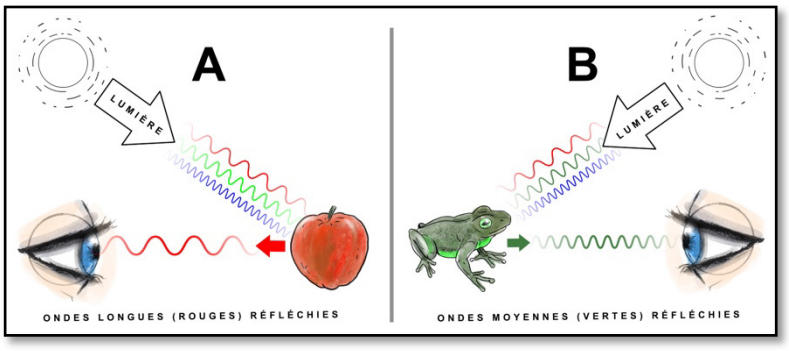
[16] Sir Isaac Newton observe ce phénomène en 1672 (Livingstone, 2014, p.14) et publie sa découverte en 1704 dans la première édition de *Opticks or a Treatise of the Reflections, Refractions, and Colours of Light* (Newton, 2016 [1730], p. 186). Dans sa 14e observation, il identifie les couleurs suivantes : rouge, orange, jaune, vert, bleu, indigo et violet (p. 185-186).

[17] La teinte est : « la propriété de la couleur essentiellement déterminée par la longueur de l'onde lumineuse dominante réfléchie par une surface et qui engendre la sensation visuelle appelée rouge, bleu, vert, etc. » (Wood *et al.*, 2009, p. 91).

du système visuel humain a mené au développement de deux types de photorécepteurs sur la rétine pour détecter ces deux grandes caractéristiques du spectre visible. Les cônes détectent à la fois les couleurs et la luminosité. Les bâtonnets qui ne perçoivent pas la couleur ne sont sensibles qu'au degré de luminosité (Lamb, 2016; Wood *et al.*, 2011, p. 75).

Inspiré par les artistes qui produisent depuis des siècles toute une gamme de teintes en mélangeant trois couleurs primaires, le polymathe anglais[18] Thomas Young (1773-1829) propose que la couleur visible soit en fait composée de trois couleurs (Conway, 2009, p. 277). Celles-ci sont le rouge, le vert, et le violet (Young, 1802, p. 440; 1807a, p. 20). Hermann Helmholtz perfectionne la théorie de Young et propose qu'il y ait trois types de fibres nerveuses dans l'œil (Helmholtz, 2014 [1860], p. 245-251). Nommée après ses deux découvreurs, la théorie Young-Helmholtz (Sekuler et Blake, 2002, p. 626), appelée aussi la théorie trichromatique (Wood *et al.*, 2009b, p. 91), fut démontrée physiologiquement par Stiles en 1959 (Colman, 2015, p. 782). La rétine humaine contient ainsi trois types de cônes : 1) les cônes qui sont sensibles aux ondes longues (rouges), 2) les cônes qui sont sensibles aux ondes moyennes (vert) et 3) les cônes qui sont sensibles aux ondes plus courtes (bleues) (Colman, 2015, p. 810).

Figure 2.8 : La réflexion de la lumière et la perception de la couleur



Les deux images, créées par l'auteur, s'inspirent de Livingstone (2014 [2002], p. 17).

À moins de regarder directement une source lumineuse pure (ce qui n'est pas recommandé), la majorité de la lumière que nous voyons est réfléchie (Livingstone, 2014 [2002], p. 17). Lorsque la lumière frappe un objet rouge, il absorbe la plupart des ondes courtes (bleues) et moyennes (vertes) et réfracte les ondes longues (rouges) qui ont une longueur allant de 620 à 700 nm (Taillet *et al.*, 2018, p. 684). Ces rayons rouges sont captés par nos yeux (voir fig. 2.8A). Lorsqu'il s'agit d'un objet vert (fig. 2.8B), une grande partie des ondes courtes (bleues) et plus longues (rouges) de la lumière sont absorbées et les ondes moyennes sont réfractées jusqu'à nos yeux. Au cinéma, le film est

[18] Les contributions scientifiques de Young, qui est un médecin, Hergenhahn, B. R. (2008). *An Introduction to the History of Psychology* (Sixth éd.). Wadsworth. Hergenhahn, B. R. (2008). *An Introduction to the History of Psychology* (Sixth éd.). Wadsworth. Hergenhahn, B. R. (2008). *An Introduction to the History of Psychology* (Sixth éd.). Wadsworth. égyptologue, et physicien, sont remarquables. Ses idées et efforts, menés presque 20 ans avant Champollion, aident ce dernier à traduire la pierre de Rosette (Leclant, 1991).

projeté sur un écran blanc qui réfracte la lumière jusqu'à nos yeux. Selon la théorie trichromatique, la couleur perçue est obtenue en comparant les valeurs d'un type de cône avec les valeurs des deux autres types (Livingstone, 2014 [2002], p. 38). Le mélange de ces trois types peut être observé dans un logiciel comme Photoshop, qui emploie le mode R.V.B. (rouge, vert et bleu[19]) pour afficher les couleurs de l'image.

Les cônes sont concentrés dans la fovéa, qui est une « petite protubérance au centre de la rétine qui assure la vision la plus nette en raison de sa forte concentration en cônes » (Wood *et al.*, 2009b, p. 90). Le reste de la rétine est couverte de bâtonnets, qui sont absents de la fovéa. La répartition des cônes et des bâtonnets est inégale, non seulement en ce qui concerne leur distribution, mais aussi en matière de leur quantité. Chaque rétine possède entre 90 et 120 millions de bâtonnets, alors qu'il n'y a que 4 à 6 millions de cônes par œil (Wolfe *et al.*, 2015, p. 43; Wood *et al.*, 2009b, p. 89). La densité des cônes est concentrée dans la fovéa et chute plus on s'en éloigne. Les bâtonnets, qui sont absents de la fovéa, couvrent le reste de la rétine. Il faut également noter que plus la concentration des cellules diminue, plus l'excentricité[20] augmente. Ces deux types de photorécepteurs nous permettent de voir dans des conditions lumineuses différentes. Les cônes nous permettent de voir le jour en couleur (vision photopique) alors que les bâtonnets sont responsables de la vue dans le noir (vision scotopique) (Wolfe *et al.*, 2015, p. 46). Les bâtonnets sont extrêmement sensibles à la luminosité, mais leur seuil de saturation est bas. Par conséquent, ils sont facilement sursaturés et inutiles de jour (Livingstone, 2014 [2002], p. 33) et seront même sursaturés quand nous regardons un film. Lamb (2016, p. 179) note que les conditions lumineuses des milieux urbains au XXIe siècle font que la vision dépend presque exclusivement des cônes. Puisqu'il n'y a que les bâtonnets qui fonctionnent la nuit, nous voyons en noir et blanc lorsque la luminosité est réduite (Conway, 2009, p. 277). De surcroît, l'acuité visuelle[21] des bâtonnets est plus faible que celle des cônes. Voilà pourquoi les choses nous semblent floues dans le noir.

Comme nous l'avons mentionné, le modèle trichromatique de la perception de la couleur ne fait que mélanger les informations des trois types de cônes. Ce processus, qui opère au niveau des photorécepteurs, a ses limites, car il ignore les informations sur la luminosité. Juste après que les ondes

[19] Le rouge, le vert et le bleu sont les trois couleurs primaires de la lumière. Ce modèle est dit « additif », car lorsque les trois couleurs primaires sont mélangées, elles produisent du blanc. Le mode soustractif est employé en art lorsque des couleurs sont mélangées. Les couleurs primaires du mode soustractif sont le : magenta, le cyan et le jaune (d'Incau, 2010, p. 29).

[20] L'excentricité est : « la distance entre l'image rétinienne et la fovéa » (Wolfe et autres, 2015, p. 42).

[21] L'acuité visuelle (*visual acuity*) est : « A measure of the finest detail that can be captured by the eye » (Wolfe et autres, 2015, p. 52)[21].

de lumière ont été captées de manière trichromatique par les trois types de cônes, elles doivent donc être recombinées avec les informations de la luminosité[22] grâce à un processus appelé « la théorie des processus antagonistes », *opponent-process theory* en anglais (Wood *et al.*, 2009b, p. 91-92). Selon le modèle, qui fut d'abord proposé par Ewald Hering (1834–1918), il existe trois types de photorécepteurs bipolaires ou de neurones afférents visuels. Plutôt que de combiner les résultats des trois types de cônes (trichromatique : rouge, vert et bleu), les photorécepteurs ou neurones répondent aux différences entre le blanc et le noir, entre le rouge et le vert et entre le bleu et le jaune dans la lumière visible (Colman, 2015, p. 530; Schwartz, Bennett Lowell et Krantz, 2019, p. 164-168). Nous reviendrons rapidement à cette théorie au prochain chapitre, car elle peut servir à expliquer le phénomène des couleurs rémanentes (Schwartz, Bennett Lowell et Krantz, 2019, p. 164-165).

2.2.3. La vision fovéale et périphérique

Le champ visuel décrit ce que nous voyons lorsque nous sommes immobiles, les deux yeux ouverts, et que nous regardons vers l'avant (Sekuler et Blake, 2002, p. 626). Notre champ visuel est mesuré en degrés. Lorsque nous sommes immobiles et regardons droit devant nous, il est d'environ 180° (voir fig. 2.9). En termes cinématographiques, Gibson (2015 [1979], p. 176) propose que le format anamorphique du Cinerama, qui a un format d'image de 1 : 2.59 (Pogue, 2018), occupe 160° du champ optique ambiant (*optical array*)[23]. Un format encore plus naturel semble être IMAX, car dans un théâtre, l'écran est immense et occupe une très grande part du champ visuel. L'écran IMAX du Sony Theaters Lincoln Square à New York, par exemple, mesure 75,6 pieds de haut et 97,6 pieds de large qui, d'après Griffiths (2008, p. 302-303), est un format sans contour qui concorde avec la taille « naturelle » de notre champ visuel. La taille d'un objet est aussi mesurée en degrés. Plus précisément, l'angle visuel est une unité de mesure qui représente, en degrés, l'espace qu'occupe un objet dans le champ visuel lorsque

Figure 2.9 : Champ visuel et vision fovéale

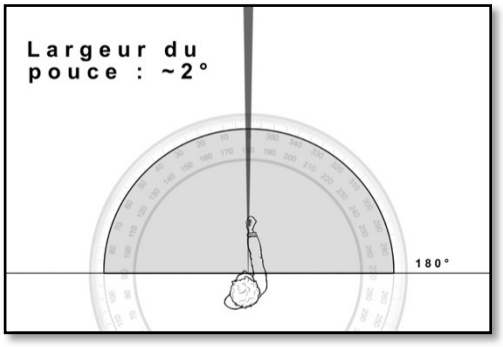


Image réalisée par l'auteur.

[22] La perception de la luminosité est basée sur les cônes L et M (Verdon et Adams, 1987).

[23] Gibson compare les 160° panoramiques du Cinerama aux piètres 20 ou 30° offerts par les cinémas typiques de son époque. Puisqu'il n'identifie pas ce ratio et écrit en 1979, nous avons présumé qu'il se référait aux formats populaires de son époque. Par exemple, le VistaVision, développé en 1954, a un format de 1,85:1. Il pourrait aussi se référer au Cinemascope qui, développé en 1953, a un rapport de 2,35:1. Cependant, ces ratios semblent bien trop larges. Nous proposons donc que Gibson se réfère peut-être au *Academy Ratio* (format académique) de 1,37:1, car ce format semble concorder aux 20 à 30° qu'il décrit.

les rayons optiques (son image) arrivent à l'œil de l'observateur (Wolfe et autres, 2015, p. 42). Comme nous venons de le mentionner à la section précédente, les cônes sont concentrés dans la fovéa qui est située directement derrière le centre de la pupille. La fovéa ne couvre que 300 micromètres carrés (300 μm^2) (Wolfe et autres, 2015, p. 43). L'acuité et la densité des cônes sur une surface aussi petite permettent une vision fovéale extrêmement claire, mais extrêmement étroite (~2°) qui correspond à la zone détaillée que nous voyons lorsque nous fixons un objet du regard (Wolfe *et al.*, 2015, p. 42). En lisant ce paragraphe, par exemple, le regard peut s'arrêter sur un mot en particulier. Les lettres qui le composent sont claires et lisibles, mais plus nous nous éloignons du point de fixation, plus les mots qui l'entourent sont flous. Le type de vision qui est permis par la fovéa et par l'attention sélective est donc précis, mais extrêmement étroit comme un laser.

Alors que la densité des cônes dans la fovéa produit une vision centrale détaillée, l'acuité spatiale de la vision périphérique est basse, car celle-ci résulte de la combinaison d'informations récoltées dans de vastes zones rétiniennes (Lamb, 2016, p. 179). Jeff Johnson, un designer, un auteur et un professeur à l'université de San Francisco, compare l'acuité visuelle à la résolution d'une image numérique[24]. Selon cette analogie, plus l'acuité visuelle est élevée, plus la « résolution spatiale » [25] de ce que nous voyons est haute et plus l'image perçue est nette et détaillée. Johnson réitère cependant le fait que la vision n'opère pas comme une caméra, car la qualité ou la résolution d'une photo est uniforme sur toute l'image, alors que la résolution de la vision humaine varie considérablement. « Said in developer jargon: in the center 1% of your visual field (i.e., the fovea), you have a high-resolution TIFF, and everywhere else, you have only a low-resolution JPEG. That is *nothing like* a digital camera » (Johnson, 2013, p. 50, italique préservé). Même si l'acuité visuelle de la vision périphérique est relativement pauvre, elle est suffisante pour déterminer l'emplacement des objets et des entités dans le champ visuel. La vision périphérique est donc utile pour naviguer efficacement à travers l'environnement (Masland, 2020, p. 28). Elle est aussi essentielle à notre survie, car elle est extrêmement sensible au changement. Un changement soudain dans l'environnement signale habituellement un mouvement ou l'apparition soudaine d'un élément. Le fait de détecter le mouvement en périphérie guide immédiatement notre attention vers ce qui a bougé (voir chap. 1). Nous fixons ensuite cette zone avec l'acuité visuelle élevée de la fovéa dans le but de déterminer si ce qui a

[24] Bien que ce type de simplification puisse mener à des idées fausses (p. ex. la théorie de la persistance rétinienne), nous nous permettons de citer Johnson, J. (2014), car ses analogies traduisent certains principes psychophysiques complexes en langage familier.

[25] Alors que l'artiste utilise la résolution visuelle pour décrire la qualité d'une image (pixelisée, floue, nette, etc.), le terme n'a pas le même sens dans les écrits scientifiques lorsqu'il est question d'un film. Les chercheurs emploient le terme « résolution spatiale » pour décrire le degré de détails d'une image et emploient « résolution temporelle » pour décrire la cadence d'un film.

bougé est dangereux (Masland, 2020, p. 27-28). La vision périphérique est ainsi essentielle à notre survie, car elle nous permet de détecter le mouvement et de naviguer à travers un monde complexe. Nous verrons également à la section 2.6 que la périphérie enrichit l'expérience visuelle lorsqu'il sera question du principe de la figure/fond.

Il est étonnant que nous ne remarquions pas que notre vision périphérique est si pauvre. Le neurologue américain David Eagleman (2011, p. 23), cité par Johnson, J. (2014, p. 49), explique le phénomène ainsi :

> The resolution in your peripheral vision is roughly equivalent to looking through a frosted shower door, and yet you enjoy the illusion of seeing the periphery clearly. […] Wherever you cast your eyes appears to be in sharp focus, and therefore you assume the whole visual world is in focus.

Masland note le même phénomène surprenant et croit que l'impression que nous avons de voir une image en haute résolution est due au fait que nos yeux sont toujours en mouvement. Nous pouvons donc fixer les éléments importants ou saillants du champ visuel avec la fovéa assez longtemps pour que nous formions une impression claire de ceux-ci. Donc, même si nous regardons ailleurs, une sorte de mémoire visuelle des objets que nous avons fixés demeure. Nous formons ainsi une scène visuelle qui nous semble claire, en dépit du fait qu'elle soit réellement constituée de petites sections en haute définition échantillonnées par la fovéa et reconstituées en un tout cohérent (Masland, 2020, p. 26-27).

Ce processus complexe, mais automatique, peut être comparé à la façon dont un casse-tête est assemblé. En faisant un casse-tête, il est seulement possible de voir les détails d'un seul morceau à la fois. Nous sommes conscients du reste de la scène, mais ces sections sont floues. Même si le morceau que nous avons fixé est perdu de vue une fois que nous l'avons intégré aux éléments déjà présents, nous sommes capables de placer d'autres morceaux manquants autour de lui, car nous nous rappelons son apparence. Le casse-tête est ainsi formé, morceau par morceau, jusqu'à ce que la scène soit complétée. Par contre, la différence fondamentale entre un casse-tête et une scène naturelle est que le casse-tête est fixe alors que la réalité est en flux. Conséquemment, chacune des sections de notre champ visuel doit être

Figure 2.10 : Approximation de la vision

Images créées par l'auteur.

revisitée régulièrement. Nous avons tenté de reproduire aux figures 2.10A et 2.10B ce que nous verrions sans l'apport des mouvements oculaires et en n'utilisant que les informations des photorécepteurs. Seule la partie centrale de l'image 2.10A est nette et en couleur, car elle représente la vision fovéale. Nous reviendrons aux différents types de mouvements oculaires au prochain chapitre, ainsi qu'à notre habileté de recréer un monde cohérent à partir de sections échantillonnées lorsqu'il sera question du *staging* (principe n^{o} 3) et de l'attention perceptuelle au chapitre 7.

Pour des raisons de simplicité, ce ne sont que les cônes et les bâtonnets qui ont été décrits jusqu'à présent, car ce sont les premières cellules de la rétine ; elles demeurent les plus connues et forment les assises de la perception. Même si les scientifiques ne connaissent pas encore la fonction de la majorité des autres types de cellules rétiniennes, ils savent que le système perceptuel commence, au niveau de la rétine, par décomposer ce que nous voyons en éléments visuels fondamentaux.

2.2.4. Les systèmes parvocellulaires et magnocellulaires : vers la forme et le mouvement

Chaque coordonnée spatiale de notre champ visuel est projetée sur un point particulier de la rétine où se trouvent les photorécepteurs. Les informations visuelles peuvent être traitées point par point, mais elles sont généralement regroupées par section du champ visuel, qui est morcelé comme les pièces d'un casse-tête. Après qu'un photorécepteur (cône ou bâtonnet) ait été activé par la lumière, une réaction chimique s'opère et le signal est transmis à quelques types de cellules (bipolaires, bipolaires diffuses, amacrines) qui traitent et regroupent les informations avant de les acheminer aux cellules ganglionnaires qui se situent sur la dernière couche de la rétine (Wolfe *et al.*, 2015, p. 52). La région de la rétine qui est analysée par un neurone visuel et qui influence la fréquence de décharge de ce dernier s'appelle « le champ récepteur » de cette cellule (Wolfe *et al.*, 2019, p. 48). Bien qu'il y ait des champs récepteurs à des niveaux perceptuels plus élevés, les premiers champs récepteurs visuels sont les cellules bipolaires et ganglionnaires de la rétine. Étudiées pour la première fois par William Kuffler dans les années 1950, les cellules ganglionnaires reçoivent ainsi les informations (*input*) de plusieurs photorécepteurs et de cellules rétiniennes (Kuffler, 1953; Schwartz, Bennett Lowell et Krantz, 2019, p. 73).

Il existe deux grands types de cellules ganglionnaires : 1) les cellules ganglionnaires de type P qui alimentent le système parvocellulaire du corps genouillé latéral et 2) les cellules ganglionnaires de type M

qui alimentent le canal magnocellulaire du corps genouillé latéral (CGL[26]) (Wolfe *et al.*, 2014, p. 53). Les cellules ganglionnaires de type P transmettent les informations détaillées provenant des cônes[27]. Elles sont sensibles à la couleur, aux zones contrastées et sont plus lentes que les cellules de type M. De plus, les cellules de type P jouent un rôle dans la détection de la forme, la couleur et le matériel qui constitue un objet (Yoonessi et Yoonessi, 2011, p. 120). Les cellules de type M sont associées aux basses fréquences spatiales (c.-à-d. aux grandes formes visuelles – voir section 2.3.1) et hautes fréquences temporelles (Skottun, 2015). De plus, les cellules de type M ne perçoivent pas la couleur, ont une acuité visuelle basse, opèrent plus rapidement que les cellules de type P et sont deux ou trois fois plus grosses que celles-ci (Wolfe *et al.*, 2014, p. 56). Elles sont aussi sensibles aux zones moins contrastées et collectent les informations du champ périphérique (Livingstone et Hubel, 1988, p. 741). Finalement, les cellules de type M collectent [et compressent, selon Johnson (2014, p. 49)], des informations de plusieurs sources, détectent la luminance et participent à la détection de mouvement, la vision stéréoscopique et la profondeur (Yoonessi et Yoonessi, 2011, p. 120). Citant le travail de Livingston et Hubel (1988), Murav'eva, Deshkovich et Shelepi (2009) décrivent succinctement les deux systèmes cellulaires ainsi : « the magno system processes information only on movement, stereopsis, outlines, and coarse spatial features, which are important for orientation in space, while the parvo system processes information relating to color and fine details for analysis of objects » (p. 536). Lorsque les signaux de chaque œil sont envoyés aux aires visuelles, les informations sont filtrées selon certaines caractéristiques.

2.3. Les composantes élémentaires de la perception

Les cellules d'un certain type couvrent la surface de la rétine à intervalles réguliers (Rockhill *et al.*, 2000, p. 2303). Cette configuration carrelée[28] permet de détecter un aspect visuel particulier sur toute la rétine (Masland, 2012a, p. 274). La taille des champs récepteurs est déterminée par deux facteurs interconnectés : 1) la caractéristique visuelle qui est détectée et 2) le nombre de photorécepteurs auxquels la cellule ganglionnaire est connectée. Pour pouvoir détecter et traquer le mouvement d'un objet dans l'espace, les cellules ganglionnaires de type M doivent recueillir l'information venant de plus de types

[26] Le corps géniculé latéral (*lateral geniculate nucleus* [LGN], en anglais) est aussi appelé le corps genouillé latéral. Selon le dictionnaire, les deux termes viennent du latin *geniculum* qui veut dire « petit genou » (Antidote, 2022k). Le CGL est nommé ainsi, car il a la forme d'un genou.

[27] Le *midget polar cell* relie directement un cône à une cellule P (sans compression), alors que les *diffuse polar cells* récoltent et compressent les informations provenant de plusieurs photorécepteurs et les acheminent aux cellules ganglionnaires (Wolfe *et al.*, 2014, p. 52-53).

[28] Bien que cette disposition s'appelle carrelage (*tiling*, en anglais), elle ne ressemble pas à un damier, qui est composée de cases à angles droits. Elle ressemble plutôt à une mosaïque composée de cellules ayant des formes semblables.

de photorécepteurs répartis sur une plus grande surface de la rétine (Masland, 2012a, p. 56; Wolfe *et al.*, 2019). Par conséquent, les champs récepteurs des cellules de type M sont ainsi plus larges que ceux des cellules ganglionnaires de type P, parce qu'ils sont en partie responsables de la perception de mouvements[29].

Comme les cellules d'un certain type sont disposées aléatoirement par rapport aux autres types de cellules (Rockhill *et al.*, 2000, p. 2303), les informations visuelles tombant sur un point du champ visuel sont traitées par une trentaine d'analyseurs différents (cellules ganglionnaires) qui détectent un aspect visuel particulier (Masland, 2020, p. 83). Tout ce que nous percevons est donc morcelé en caractéristiques visuelles élémentaires. Jusqu'à présent, les chercheurs savent que les propriétés élémentaires suivantes sont détectées lors des premières étapes visuelles au niveau de la rétine et un peu plus tard au niveau du cortex (Masland, 2020, p. 83-84, 86) :

- la luminosité
- la couleur (cônes)
- les contours (voir ci-bas)
- l'orientation d'une ligne ou d'un contour (Wolfe *et al.*, 2019, p. 77-78).
- La direction (Masland, 2020, p. 78)

Les contours et les contrastes sont les premiers repères visuels à être détectés, car ils nous permettent de voir la forme des choses dans l'environnement.

2.3.1. Les contours et la fréquence spatiale

Nous commençons souvent un dessin en traçant la ligne de contour des éléments présents dans la scène. Cette ligne nous permet de délimiter les formes dans l'espace, de les séparer les unes des autres, et de les détacher du décor. La ligne de contour est néanmoins une convention visuelle qui n'existe pas dans la nature. Lorsque nous regardons un paysage bucolique à l'aube, par exemple, le blanc de la laine des moutons et la lumière reflétée sur la chemise du berger nous permettent de les distinguer rapidement du ciel ombragé dont la base est marquée par les angles tranchants d'une chaîne de montagnes. Nous percevons toutes ces choses, en dépit du fait qu'il n'y a pas de ligne de contour dans la scène. Il n'y a que des différences de luminosité. Notre capacité à détecter les contours et les lignes est ainsi cruciale pour la vision et notre survie, car le monde est rempli d'entités dont les limites physiques sont délimitées par ces

[29] En fait, ces deux types de cellules ont été nommés pour leur taille. Selon le dictionnaire, « parvo » vient du latin *parvus* pour « petit » et « magno » vient du latin *magnus* pour « grand » (Antidote, 2022).

deux caractéristiques visuelles élémentaires. Puisque l'intersection entre une zone foncée et une zone claire est la frontière qui délimite une forme d'une autre, le contour de luminosité (*brightness contour*, en anglais) est un indice crucial à la perception qui nous permet de déterminer l'emplacement et l'orientation des objets dans notre environnement (Zacks, 2014, p. 148-149). L'intersection de deux zones nous permet également de déterminer la nature de l'objet, car un rebord peut être droit comme le tronc d'un arbre, le sommet d'une montagne ou la lame d'un morceau de silex. Un rebord peut aussi être courbé comme l'extérieur d'une noix ou la carapace d'une tortue (Masland, 2020, p. 178). La capacité de détecter les contours et les rebords dans l'environnement grâce aux taches de luminosité constitue ainsi la première étape requise pour identifier un objet, non seulement pour l'être humain, mais aussi pour les logiciels et algorithmes utilisés à cet effet (Chen *et al.*, 2019, p. 1). Pour faciliter la tâche, la présence d'un rebord ou d'un contour est accentuée au niveau ganglionnaire par un mécanisme appelé l'inhibition latérale (Masland, 2020, p. 39). Dans ce sens, ce n'est pas le centre d'un carré blanc qui est intéressant pour le système perceptuel, mais son contour, car ce sont les zones de transition qui portent le plus d'informations (p. 34).

Le concept de la fréquence spatiale est associé à l'habileté de détecter les contours d'un objet. Au lieu de penser à une image en fonction de sa luminance, c'est-à-dire comme étant composée de zones claires et de zones foncées, certaines recherches décrivent le contenu d'une image en termes de ses fréquences spatiales. Murphy, Brooks et Cook (2015) décrivent la fréquence spatiale ainsi :

> Spatial frequency is a way to deconstruct the periodic distributions of light and dark across an image; high spatial frequencies correspond to features such as sharp edges and fine details, whereas low spatial frequencies correspond to features such as global shape and more broad swaths of luminance. (p. 277)

Les zones de fréquences spatiales hautes marquent ainsi les contours nets et les détails d'une image, alors que les fréquences spatiales basses représentent les grandes formes, ainsi que les régions et les zones contrastées (voir figure 2.11). Comme nous le verrons à la prochaine section, les zones ayant une fréquence spatiale basse jouent un rôle plus important dans la perception d'un mouvement que les zones de hautes fréquences spatiales[30]. Les fréquences spatiales peuvent aussi être comparées aux différences d'acuité visuelle. La vision fovéale, qui a une acuité visuelle plus élevée, semble détecter les fréquences

[30] Pour un artiste travaillant de manière numérique, il est possible de séparer les fréquences spatiales dans Photoshop. L'effet de flou gaussien (*gaussian blur*) reproduit bien les basses fréquences et les hautes fréquences peuvent être obtenues grâce au filtre « Passe-haut » (ou *High pass*) (Joojaa, 2017; McKim, 2013).

hautes, et la vision périphérique, qui a une acuité visuelle plus pauvre, semble détecter les fréquences basses.

Figure 2.11 : Distribution des fréquences spatiales et l'acuité visuelle

À gauche, La *Mona Lisa* (da Vinci, 1503-1506) et trois niveaux d'acuité visuelle associés à la vision fovéale et la vision périphérique. Les images sont prises de Livingstone (2014 [2002], p. 83).

Pour reprendre la comparaison entre un casse-tête et la perception, il est intéressant de noter que nous commençons généralement un casse-tête en trouvant les quatre coins et les morceaux qui délimitent le cadre. Ensuite, nous identifions et regroupons les morceaux ayant les mêmes caractéristiques. Par exemple, nous rassemblons tous les morceaux bleus, parce qu'ils font sûrement partie du ciel ou de l'océan, et nous regroupons les pièces ayant un certain motif, car nous savons qu'elles feront partie d'une zone texturée, comme un tissu ou du feuillage. Ces regroupements sont utiles, mais ils ne serviront pas immédiatement, car il est difficile de commencer à assembler les morceaux qui se situent au milieu de ces zones. Nous cherchons donc les morceaux qui signalent la transition d'une zone à une autre. En d'autres mots, comme les processus visuels de bas niveau, nous identifions les zones de transition, car celles-ci représentent la frontière entre un objet et un autre. Les rebords sont essentiels, car ils délimitent l'espace occupé par le casse-tête. À l'inverse, le morceau complètement bleu est moins utile au début du processus, car il pourrait se situer n'importe où dans le ciel. Le morceau bleu et vert, par contre, contient des informations plus utiles parce qu'il sera sûrement placé à la frontière qui sépare le ciel du gazon. Comme dans un casse-tête, ce sont donc les caractéristiques fondamentales que nous avons décrites jusqu'à présent (les contours, les textures, les fréquences basses, etc.) qui sont extraites des rayons lumineux et traitées en premier.

2.4. La vision précoce et les arts

Comme cela a été mentionné au chapitre précédent, les artistes imitent, reproduisent et exploitent consciemment et inconsciemment des particularités et des principes employés par le système perceptuel pour maximiser la saillance de leur œuvre. Par exemple, la perspective linéaire, inventée durant la Renaissance par Filippo Brunelleschi (Kemp, 2006, p. 15; Manetti, 1985, p. 68-70) et par Leon Battista Alberti (Mather, 2014, p. 51), produit des images qui sont similaires (mais pas identiques) à celles captées

par la lentille de l'œil et la lentille de la caméra (Arnheim, 1974, p. 285-286). L'artiste emploie aussi des techniques simples pour voir des aspects visuels élémentaires que les processus perceptuels cognitifs semblent dissimuler. Par exemple, nous n'avons pas besoin d'un logiciel pour séparer les fréquences spatiales. Il suffit de plisser les yeux (Edwards, 2012, p. 161). En diminuant l'acuité visuelle, l'artiste a plus de facilité à voir les grandes formes (fréquences basses), leurs positions et leur agencement ainsi que la composition générale d'une scène (espaces négatifs et positifs), sans être distrait par les détails (fréquences hautes).

Le fait que la ligne, les contours et les zones contrastées (luminosité) soient des caractéristiques visuelles élémentaires détectées durant les premiers stades de la perception pourrait expliquer l'attrait et la popularité des personnages de bandes dessinées et de dessins animés qui emploient un style graphique simplifié. Par exemple, le style de Mike Mignola, le créateur de Hellboy, aussi adapté au cinéma (Del Toro, 2004), a une simplicité attrayante et sculpturale qui, d'après Bukatman, invoque les sculptures d'Auguste Rodin (2014). Il y a aussi le style de la bande dessinée *Sin City* de Frank Miller, reproduite au cinéma (Miller *et al.*, 2005), qui a une esthétique « en noir et blanc dont la dureté et simplicité rappellent une gravure sur bois » (Bould, 2005, p. 145). En animation, le style cartoonesque des personnages des Looney Tunes ou le style Manga japonais réduit la forme à ses caractéristiques visuelles essentielles. Une ligne de contour d'un personnage, plus ou moins épaisse selon le style et l'artiste, nous aide à identifier le personnage en délimitant clairement la place qu'il occupe dans l'espace et en le séparant de l'arrière-plan. Ramachandran et Blakeslee proposent que même durant les premières étapes de la vision, il y a une forme d'édition visuelle, un centre de tri, qui préserve les traits saillants (comme les contours) et qui éliminent les aspects superflus. Ils comparent le centre de tri perceptuel au travail de l'artiste. Ils décrivent le processus ainsi :

> […] this first map serves as a sorting and editorial office where redundant or useless information is discarded wholesale and certain defining attributes of the visual image–such as edges–are strongly emphasized. (This is why a cartoonist can convey such a vivid picture with just a few pen strokes depicting the outlines or edges alone; he's mimicking what your visual system is specialized to do.) (Ramachandran et Blakeslee, 1998, p. 72)

Dans les années 1950, Ryan et Schwartz démontrent dans une étude menée avec un petit groupe de participants[31] qu'un objet représenté dans un style de dessin cartoonesque est identifié plus rapidement

[31] Deux facteurs indiquent que les résultats sont basés sur un échantillonnage restreint. Premièrement, les chercheurs ne mentionnent jamais le nombre de participants. Deuxièmement, les chercheurs précisent que l'étude n'est que préliminaire et qu'une étude plus poussée nécessiterait plus de participants.

qu'une image plus réaliste de l'objet ou qu'une photo du même objet (Ryan et Schwartz, 1956). Une étude plus récente (Kendall *et al.*, 2016) indique qu'un dessin simple et iconique est perçu plus rapidement qu'une photo réaliste, probablement à cause de ses caractéristiques visuelles élémentaires. Nous reviendrons sur ces études aux chapitres 6 et 7, car en plus de la simplicité de la forme, les *cartoons* et les modes de représentation plus simples emploient aussi l'exagération et la caricature pour maximiser leur effet.

Plusieurs autres astuces en dessin visent à augmenter les indices visuels de bas niveau et à limiter l'effet d'opérations cognitives plus sophistiquées qui ont tendance à fausser la fidélité d'une illustration. La méthode développée par Betty Edwards, et décrite dans *Drawing with the Right Side of the Brain* (Edwards, 2012), est axée sur l'activation de l'hémisphère droit pour dessiner de manière plus réaliste. La différence entre les deux hémisphères est un sujet souvent marqué par des déclarations pseudoscientifiques pernicieuses que Redifer et Jakola (2022) appellent des « neuromythes »[32]. Selon les explications de ce type, l'hémisphère gauche, responsable du langage, est notre côté rationnel et logique. Ce côté nuit à la créativité qui est régie par l'hémisphère droit. Bien que cette description repose sur une simplification excessive, l'association qui est parfois faite entre l'hémisphère droit et la perception holistique a été démontrée scientifiquement. D'après McGilchrist :

> The right hemisphere sees the whole, before whatever it is gets broken up into parts in our attempt to 'know' it. Its holistic processing of visual form is not based on summation of parts. On the other hand, the left hemisphere sees part-objects. (McGilchrist, 2019, p. 46-47)

Il ne faut cependant pas minimiser l'apport de l'hémisphère gauche. En plus de jouer un rôle important dans le langage[33], il permet la catégorisation des choses. Il gère aussi nos actions motrices fines et est responsable de l'attention au détail (McGilchrist, 2019, p. Kindle Locations 1119-1120). Pour illustrer l'interaction des deux hémisphères, McGilchrist cite en exemple une pianiste. Celle-ci choisit un certain morceau de musique parce qu'elle l'aime dans son ensemble (hémisphère droit). Elle joue aisément certaines sections, mais a du mal avec les moments plus techniques. Lors de ces derniers, elle doit

[32] La position de Betty Edwards est beaucoup plus nuancée que les théories pseudoscientifiques et l'évolution des recherches scientifiques est reflétée dans les quatre éditions *Drawing with the Right Side of the Brain* (Edwards, 2012, xiii).

[33] L'hémisphère gauche est en grande partie responsable du langage littéral, mais pas du langage imagé ou métaphorique. Il nous faut donc l'hémisphère droit, qui est sensible aux émotions et au contexte, pour comprendre, apprécier et créer de la poésie et de l'humour. McGilchrist nous rappelle que : « Meaning is more than words » (2019, Kindle Location 2349).

dépendre de son hémisphère gauche pour les apprendre. Puis une fois qu'elle a maîtrisé les passages plus complexes, elle peut jouer le morceau au complet avec émotion (hémisphère droit).

Il est important de noter que la position de McGilchrist ne fait pas l'unanimité chez les scientifiques et que les différences entre les deux hémisphères sont probablement moins prononcées qu'il le suggère. La figure XX*, par exemple, illustre le fait que chaque hémisphère traite la moitié (oppose) du champ visuel. Certaines fonctions semblent toutefois relever davantage (mais pas uniquement) d'un hémisphère. Il y aurait ainsi des mécanismes perceptivo-moteurs associés aux détails, aux manipulations et à l'identification des choses, alors que d'autres tâches perceptives seraient d'une nature holistique. Peu importe leur lieu d'origine dans le système cérébral, il est possible d'observer l'alternance entre les deux modes de pensée dans un processus de création artistique. Lorsque nous participons à un atelier de dessin avec modèle, par exemple, les premières poses sont généralement courtes (30 s – 1 min). Nous n'avons pas le temps de « penser » aux détails, car nous devons représenter toute la forme de la tête aux pieds (perception holistique) rapidement. Ces délais courts font que le système conceptuel n'a pas le temps de gâcher le dessin avec ses préconceptions symboliques. Après que la figure complète ait été illustrée, nous avons le temps, si la pose est plus longue, d'ajouter des détails. À ce moment, certaines parties du corps sont difficiles à dessiner. Généralement, ces sections sont le visage, les mains et les pieds. Ce sont également, comme nous le verrons prochainement, celles qui attirent le plus notre attention (voir chapitres 6 et 7), car elles sont une source d'informations interpersonnelles (du moins dans le cas des visages et des mains). Pour représenter ces sections complexes, nous devons presque inévitablement employer le ou les systèmes responsables des actions motrices fines qui seront nécessaires pour reproduire les détails. De plus, ces mécanismes nous permettent de focaliser notre attention sur la zone problématique. Il faut néanmoins être prudent, car lorsqu'une pose est plus longue, plus le système qui gère les tâches motrices et langagières a le temps d'interférer avec le processus. Le fait que les dessins ne soient pas nécessairement meilleurs ou plus réalistes lorsque les poses du modèle sont plus longues démontre l'importance des mécanismes holistiques dans la production artistique et la perception. Le déroulement d'une séance de dessin témoigne de la sagesse des traditions artistiques qui ont développé, avec le temps et l'expérience, des astuces pour encourager la perception de repères visuels élémentaires.

En animation, le film de silhouettes, qui est la technique employée par Lotte Reiniger tout au long de sa carrière (p. ex. *Die Abenteuer des Prinzen Achmed* [*Les aventures du prince Ahmed,* 1926]), profite pleinement de la force perceptuelle des caractéristiques visuelles élémentaires. En premier lieu, puisque

la technique est souvent rétroéclairée, l'image est réduite à un ensemble de masses contrastées (fréquences basses). Les formes sont si bien définies et les contrastes si prononcés que nous imaginons que l'inhibition latérale n'est pas vraiment nécessaire pour faciliter la détection des contours (Schwartz, Bennett Lowell et Krantz, 2019, p. 76). Ensuite, le fait que « la silhouette demeure confinée dans l'avant-plan qui lui est réservé, et ne communique pas avec l'arrière-plan » (Van Brabant, 2018, p. 39) crée une mise en scène claire et épurée qui rappelle le principe de la figure/fond de la Gestalt qui sera décrit à la section 2.6. L'animation dite « tradigitale »[34] (p. ex. *South Park* [Parker et al., 1997-2021] ou *6teen* [Pertsch et al., 2004-2010], réalisée grâce à un logiciel comme Flash, Adobe After Effects ou Harmony (Toon Boom), favorise également les positions corporelles en ¾ ou de profil, qui, comme les silhouettes, créent des formes clairement définies. La réduction d'une pose animée à sa silhouette aide l'animateur à choisir quelle position est la plus saillante (Besen et Hallett, 2008, p. 144).

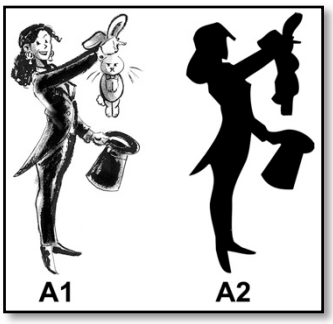
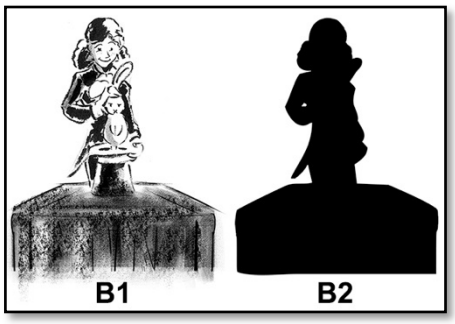


Figure 2.12 : Silhouette
Si nous comprenons une action à partir de sa silhouette, la pose est claire. Dans cet exemple, la pose A1 (gauche) est préférable à la pose B1 (droite), car la silhouette A2 communique l'information désirée, alors que la silhouette B2 est ambiguë.



La figure 2.12A1, par exemple, est visuellement plus efficace que la figure 2.12B1, car il est possible de comprendre l'action à partir de sa silhouette. D'après Thomas et Johnston (1981, p. 56), l'emploi de la silhouette, qui est associé au *staging* (principe d'animation n° 3), est nécessaire au début de l'animation, car les expressions corporelles des premiers personnages animés en noir et blanc sont ambiguës lorsque leurs membres se chevauchent. Le bras noir de Mickey, par exemple, se perd complètement lorsqu'il passe devant son corps également noir. Éventuellement, Disney et ses animateurs réalisent que les informations sont plus claires lorsqu'elles sont exprimées en silhouette. La pratique de réduire une forme à sa silhouette n'est pas limitée à l'animation. Dans *The Visual Story* (2008), Bruce Bock observe que, malgré la complexité apparente des objets et entités qui nous entourent, ces derniers peuvent être catégorisés en trois formes géométriques distinctes : le cercle, le carré et le rectangle. Pour voir la forme géométrique élémentaire

[34] L'animation « tradigitale » doit son nom au fait qu'elle est à la fois traditionnelle et numérique, car elle imite le style du dessin animé classique (Brooks, 2017). Il faut toutefois noter que le terme est traduit directement de l'anglais, car le mot « digital » veut dire « numérique » en anglais, alors qu'en français il se réfère aux doigts (Antidote, 2022h). De plus, le terme ne semble pas être limité à l'animation 2D numérique, car il est employé dans des livres portant sur des logiciels d'animation 3D, tels Maya ou Blender (Hess, 2013; Montgomery, 2012). Dans ce contexte, « tradigital » veut tout simplement dire que les principes d'animation traditionnelle sont transposés à l'animation numérique 3D.

d'une chose, il suffit de la convertir en silhouette (p. 109). Le fait que la mise en place de formes géométriques simples soit la première étape de plusieurs techniques visuelles indique que les formes jouent un rôle central dans la perception d'une scène. Nous reviendrons aux mécanismes permettant la reconnaissance d'objets aux sections 2.5 et 2.6.

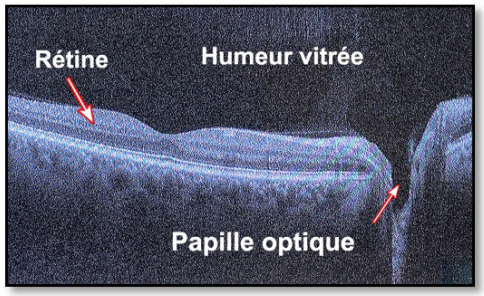
L'habileté de certains artistes visuels de « voir » les éléments fondamentaux de la perception soulève la question suivante : est-ce que l'artiste est en mesure d'accéder aux informations visuelles précoces (*early visual processes*, en anglais), avant qu'elles ne soient interprétées et potentiellement déformées par les processus cognitifs en amont ? Perdreau et Cavanagh, qui étudient le lien entre la perception et le processus artistique, s'attaquent à cette question dans une série d'articles dont : « Do Artists See Their Retinas? » (Perdreau et Cavanagh, 2011) et « Is artists' perception more veridical? » (2013). Bien que le titre du premier article perpétue la fausse idée que la rétine est une sorte d'écran sur lequel des images visibles sont affichées, ces recherches révèlent des aspects importants du processus artistique. Dans un premier temps, ils concluent que les artistes n'ont pas un troisième œil qui leur permettrait d'accéder aux informations brutes telles qu'elles sont projetées sur la rétine ou traitées durant les processus visuels précoces (Perdreau et Cavanagh, 2013). Ils proposent que l'habileté artistique de représenter le monde sans filtre est probablement acquise avec l'expérience et attribuée simplement au fait que l'artiste compare régulièrement son travail avec ce qu'il perçoit (Perdreau et Cavanagh, 2011, p. 9). Les chercheurs semblent minimiser cette capacité, mais elle est cruciale au processus artistique.

Dans l'exemple de la séance de dessin, si un artiste passe trop de temps à retravailler un aspect du dessin sans regarder sa référence, il risque de représenter des traits qui ne sont pas présents dans la réalité, car le système conceptuel commence à imposer sa vision symbolique au dessin. De plus, le détail que l'artiste pensait avoir si bien travaillé et retravaillé sera disproportionné par rapport à l'ensemble de l'œuvre, car le système perceptif holistique d'un sujet n'a pas été mobilisé. C'est pour cette raison qu'un enseignant de dessin doit parfois encourager ses élèves à poser leur crayon, reculer et prendre quelques moments pour observer le modèle et leur travail. Donc, même si une artiste n'a pas le pouvoir d'accéder à l'information visuelle brute, elle sait d'expérience que la perception humaine a tendance à nous offrir une image mentale filtrée et modifiée. Puisque la perception n'est pas un témoin fiable, il faut donc s'entraîner à constamment comparer, valider et renouveler ses impressions visuelles par de nouvelles observations avant que celles-ci ne soient teintées à nouveau par nos impressions subjectives. Nous reviendrons aux recherches de Perdreau et Cavanagh lorsqu'il sera question des mécanismes dynamiques permettant la

reconnaissance d'objets, car ces chercheurs observent que l'artiste développe avec la pratique et l'expérience une habileté à reconnaître et catégoriser les formes présentes dans notre champ visuel.

2.4.1. Vers la forme et le mouvement

Figure 2.13 : Papille optique



La papille optique et le début du nerf optique apparaissent clairement dans cette image de l'intérieur d'un œil. Image prise par l'auteur.

Nous avons noté au début de ce chapitre que chacun des stades préliminaires de la perception est une sorte de filtre chargé d'extraire une caractéristique importante du champ visuel afin de passer cette information au filtre suivant (Wolfe *et al.*, 2015, p. 56). Nous avons ainsi vu que le premier filtre extrait la luminosité et la couleur sous la forme de taches lumineuses. Plus tard, les neurones du cortex cérébral sont sensibles aux rayures (plutôt que les taches), les lignes et les bordures (Wolfe *et al.*, 2015, p. 58). À ce stade de la perception, les informations visuelles des champs récepteurs, qui ont été recueillies par les cellules ganglionnaires de types M et P, sont envoyées au corps géniculé latéral (CGL) de chaque hémisphère en passant par le nerf optique qui connecte l'œil au cerveau (Yoonessi et Yoonessi, 2011, p. 120). Il faut noter ici qu'il n'y a pas de cônes ou de bâtonnets à l'endroit où le nerf optique est connecté à l'œil. Il y a donc une zone sur la rétine où les sensations visuelles ne sont pas captées. Cette zone particulière, appelée la papille optique (voir fig. 2.13), correspond à une tache aveugle dans le champ visuel (Wood *et al.*, 2009b, p. 90). Avant d'arriver au CGL, les nerfs optiques venant de chaque œil se rencontrent et se croisent au chiasma optique formant un « X » [35]. Cet embranchement permet d'envoyer la moitié du signal venant d'un œil à l'hémisphère opposé (voir fig. 2.14). Une partie de l'information captée par l'œil gauche est donc envoyée à l'hémisphère droit et une partie de l'information de l'œil droit est envoyée à l'hémisphère gauche. « Ce croisement permet à l'information visuelle de chacun des deux yeux d'être représentée dans le cortex visuel des deux hémisphères cérébraux, et joue un rôle majeur dans la perception de la profondeur » (Wood *et al.*, 2009b, p. 91). Si cette répartition anatomique des informations (appelée la « distribution controlatérale de l'espace visuel » [Schwartz et Krantz, 2019, p. 93] semble contre-intuitive, il est utile d'imaginer que le nez sépare le champ visuel en deux. Peu importe leur provenance (œil gauche ou droit), les informations à notre gauche sont ainsi

[35] La structure est nommée ainsi par le médecin grec Galien de Pergame (130-200) parce qu'elle a la même forme que la lettre « χ » qui se prononce « chi » (Wade et Swanston, 2013, p. 143).

acheminées à l'hémisphère droit et les informations à notre droite sont acheminées à l'hémisphère gauche. Chaque hémisphère a ainsi un plan de sa moitié (opposée) du champ visuel. Nous verrons prochainement que cette consolidation permet la vision stéréoscopique.

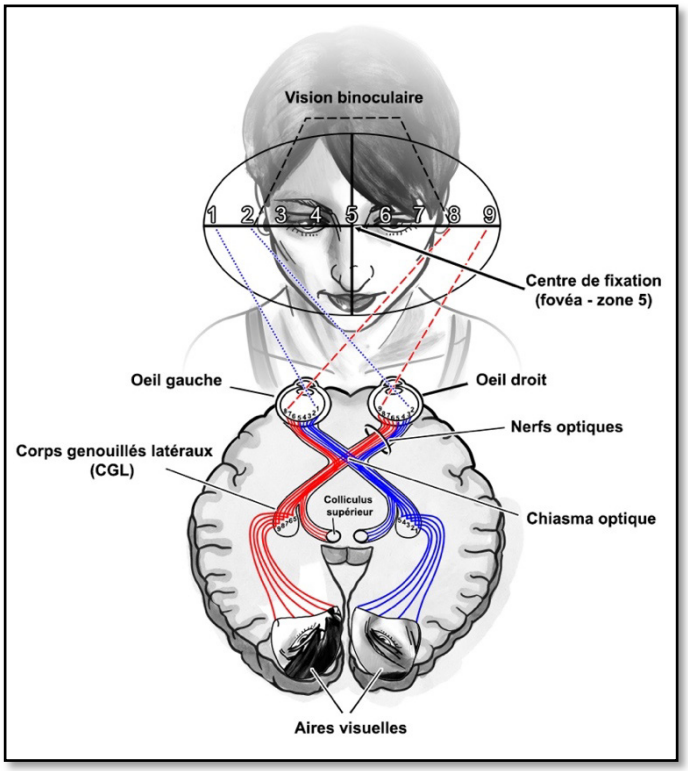


Figure 2.14 : La division hémisphérique des signaux visuels

Les lignes rouges dans la figure de gauche correspondent aux informations envoyées à l'hémisphère gauche et les lignes bleues représentent les informations acheminées à l'hémisphère droit. L'illustration s'inspire de Wolfe *et al.* (2019, p. 73), qui se sont basés sur une image de Frisby et Stone (2010). Des détails venant de Wood *et al.* (2009, p. 91) ont aussi été ajoutés à l'image.

Situé dans le thalamus, qu'il partage avec une partie de l'aire auditive, le corps genouillé latéral (CGL) est une structure bilatérale[36] complexe composée de deux couches magnocellulaires et de quatre couches parvocellulaires (Schwartz, Bennett Lowell et Krantz, 2019, p. 94; Wolfe *et al.*, 2019, p. 70). Le CGL a une organisation rétinotopique (c'est-à-dire qui est en lien avec la rétine). Conséquemment, les informations visuelles adjacentes sur la rétine sont aussi adjacentes dans le CGL (Purves *et al.*, 2019, p. 247; Schwartz, Bennett Lowell et Krantz, 2019, p. 95). Le CGL de chaque hémisphère contient ainsi une carte topographique en 3D de notre environnement, qui représente la moitié du champ visuel. Ce plan nous permet de situer les objets dans l'espace (Wolfe *et al.*, 2019, p. 70). Le CGL participe aux étapes initiales permettant la vision stéréoscopique[37], car le CGL de chaque hémisphère conserve l'information de la provenance du stimulus (si ce dernier vient de l'œil gauche ou de l'œil droit) (Schwartz, Bennett Lowell et

[36] Bilatérale : qui est trouvée dans les deux hémisphères.

[37] Stéréoscopique : « de l'affixe d'origine grecque *stereo*, 'à trois dimensions', et *-scope*, 'observer' » (Antidote, 2022u).

Krantz, 2019). Puisque nos deux yeux sont séparés de quelques centimètres, le point de vue d'un œil est légèrement différent du point de vue de l'autre œil. « La différence entre les deux images rétiniennes d'une même scène » s'appelle la disparité binoculaire (Wolfe *et al.*, 2019, p. 169). Le système perceptuel peut superposer les deux points de vue de la vision binoculaire[38] dans les premières aires du cortex visuel (Wade et Swanston, 2013, p. 157) et recréer, à partir de la disparité entre ces images, l'illusion d'un monde tridimensionnel ou stéréoscopique (Wolfe *et al.*, 2019, p. 167-169). Les lunettes stéréoscopiques, utilisées au cinéma, fonctionnent de la même façon, car elles sont en mesure d'envoyer une image différente à chaque œil. Puisque chacune de ces images est légèrement décalée de manière à imiter la vision binoculaire, l'effet stéréoscopique est recréé au cinéma. Le concept de l'occlusion et le phénomène de la parallaxe sont associés à la stéréoscopie. Puisque la matière est solide et généralement opaque, nous présumons qu'un objet qui cache (ou *occlude*, en anglais) un autre objet est devant ce dernier. Il s'agit d'un des repères monoculaires utilisés dans la perception de la profondeur[39]. La parallaxe de mouvement décrit le fait qu'en se déplaçant, les objets qui sont proches de nous semblent glisser plus rapidement, alors que les objets éloignés semblent bouger plus lentement (Goldstein et Cacciamani, 2022, p. 231-234). Nous reviendrons à la parallaxe et à l'occlusion aux chapitres 4, 5 et 7, car elles sont des repères visuels puissants que l'animatrice peut employer pour simuler des phénomènes réels en animation.

2.5. Vision modulaire

Après que les informations arrivent au CGL, elles sont transmises au cortex visuel primaire de leur hémisphère respectif. Le théoricien et neurobiologiste britannique Semir Zeki compare le cortex visuel, aussi appelé l'aire visuelle 1 ou V1[40], à un centre de traitement d'un bureau de poste qui trie, puis distribue les informations aux différentes aires visuelles (de V2 à V5) selon leur spécialité (Zeki, 1998a, p. 3). Zeki postule en 1998 que la vision est modulaire, car chaque aire visuelle (de V2 à V5) a sa propre spécialisation et travaille en parallèle des autres systèmes à des vitesses différentes (Zeki, 1998a, 1998b). La découverte durant les dernières années qu'il y a des circuits neuronaux distincts dans plusieurs régions du cortex de l'être humain et de nombreux animaux indique que le module est une unité fondamentale de la perception, de la cognition et possiblement de la conscience (Purves *et al.*, 2019, p. 194-195). Chaque module est, selon Wolfe *et al.,* l'équivalent d'un mini-ordinateur capable de détecter une caractéristique ou un aspect

[38] Binoculaire : « emprunt au latin classique *bini*, 'chaque fois deux', et *oculus*, 'œil' » (Antidote, 2022d).

[39] Les autres repères sont la taille relative des objets dans une scène, la perspective (atmosphérique et l'effet de la convergence), les ombres, et la parallaxe du mouvement (Goldstein et Cacciamani, 2022, p. 231-234).

[40] Ces aires sont identifiées d'un V, pour visuel, suivi d'un numéro allant de 1 à 5.

du champ visuel (2019, p. 58). Nous aurions peut-être développé un système visuel modulaire spécialisé de ce type, parce que la vision détecte plusieurs attributs importants (mouvement, forme, orientation, etc.) qui ont chacun leurs particularités. En ayant un rôle bien précis, un module peut optimiser son travail en ignorant les informations dont il n'a pas besoin et ne traiter que les informations propres à son expertise (Zeki, 1998a, p. 3). Un système perspectif qui détecte le mouvement, par exemple, n'a pas besoin de dépenser des ressources computationnelles pour gérer les informations chromatiques. À l'inverse, le module traitant la couleur et la forme n'a pas besoin de voir dans le noir. Les chercheurs cognitifs, dont Zeki, ont découvert la possibilité des spécialisations modulaires grâce à des expérimentations menées sur des animaux, les singes en particulier[41] (Mountcastle *et al.*, 1975). D'autres découvertes, qui seront citées prochainement, ont été faites en observant des individus qui ont malheureusement subi des dommages cérébraux causés par des accidents physiques (p. ex. traumatismes crâniens) ou à la suite d'un accident vasculaire cérébral. Les exemples suivants révèlent non seulement la nature modulaire de la perception, mais indiquent que le cerveau traite le mouvement et la forme séparément.

2.5.1. Troubles visuels et la nature modulaire de la perception

Un jour, une jeune femme appelée Diane (Dee) Fletcher s'évanouit et se frappe la tête dans la douche. La cause de son évanouissement : une intoxication au monoxyde de carbone causée par une fuite de gaz. Après l'accident, la perception de Fletcher est décrite comme une « vision sans forme » (Goodale et Milner, 2013, p. 3), car elle est incapable de reconnaître des objets familiers. Par exemple, Fletcher décrit une lampe de poche placée sur une table devant elle, comme suit : « It's made of aluminium. It's got red plastic on it. Is it some sort of kitchen utensil? » (Goodale et Milner, 2013, p. 4). Fletcher est atteinte d'un type d'agnosie (du grec ancien pour « ne pas » [a] « connaître » [gnosia]) qui, selon le dictionnaire, est définie comme un : « trouble de la reconnaissance des informations sensorielles, en l'absence d'anomalie des organes de perception, dû à une lésion du cortex cérébral » (Antidote, 2022c). Il existe quelques types d'agnosie et le cas de Fletcher est une agnosie visuelle de la forme (agnosie aperceptive), car elle se manifeste comme une inhabilité de reconnaître un objet ou même de différencier un cercle d'un carré

[41] Ce type de recherche débute au XIXe siècle avec le travail du neurologiste écossais David Ferrier, qui effectue des expériences sur un singe (Goodale et Milner, 2013, p. 65).

(Freud, E. *et al.*, 2016, p. 774). Bien que l'individu atteint de ce trouble ne puisse pas voir une forme au repos, il peut dans certains cas l'identifier lorsque l'objet est en mouvement[42].

En plus d'une agnosie de la forme, il existe une agnosie visuelle du mouvement, que Semir Zeki nomme « akinétopsie » (*motion blindness*) (1991). Dans le strict sens du terme, un individu atteint de ce trouble neuropsychologique rare (Terpening et Watson, 2007, p. 59) ne peut pas distinguer le mouvement[43] (Wolfe *et al.*, 2015, p. 187). Malgré cette défaillance importante, la personne peut néanmoins percevoir un objet au repos (Schwartz, Bennett Lowell et Krantz, 2019, p. 238). L'akinétopsie est aussi un terme plus général qui décrit un ensemble de symptômes affectant la perception du mouvement. Dans certains cas, un objet en mouvement apparaît comme une série d'images fixes qui « sautent » d'une position à une autre (Zacks, 2014, p. 151), comme si la scène était vue sous une lumière stroboscopique (Horton et Trobe, 1999, p. 530). Parfois, la perception d'un mouvement continu est impossible, car une seule image de l'objet immobile apparaît à la fois (Dubois et VanRullen, 2011, p. 3). Dans d'autres cas, un objet en mouvement laisse une traînée d'images statiques et persistantes. Appelé *visual trailing* (ou traînées visuelles), ce phénomène, qui accompagne parfois la consommation de LSD (Dubois et VanRullen, 2011), peut être défini ainsi :

> Une perturbation transitoire, mais dramatique de la perception visuelle du mouvement d'origine inconnue : le sujet perçoit une série d'images stationnaires discrètes traînant dans le sillage d'objets qui sont normalement en mouvement.[44] (Dubois et VanRullen, 2011, p. e1001056)

Gersztenkorn et Lee croient que les traînées visuelles peuvent être un des huit symptômes hétérogènes de la palinopsie[45] (2015, p. 2). Ce trouble rare est décrit comme : « la persistance ou la récurrence d'images visuelles après que l'objet stimulus excitant a été retiré » (Bender *et al.*, 1968, p. 321). Dubois et VanRullen (2011, p. e1001056) remarquent que la palinopsie akinétopsique[46] (c'est-à-dire les traînées visuelles) et

[42] Contre toute attente, même si un patient atteint d'agnosie visuelle de la forme est incapable d'identifier un objet lorsque ce dernier est au repos, il est parfois en mesure de l'identifier lorsqu'il le voit à la télévision. Ceci indiquerait que le fait d'afficher un objet sur un écran, même si ce dernier est au repos, lui confère une forme de mouvement (Anderson, 1998, p. 61). Il n'est pas clair dans l'article si l'objet immobile est perçu aussi lorsqu'il est projeté au cinéma.

[43] L'akinétopsie est souvent accompagnée d'achromatopsie, un trouble visuel qui élimine la perception de couleur et dépeint le monde en tons de gris (Anderson, 1998, p. 61).

[44] Traduit de l'anglais : « Visual trailing is a transient but dramatic disturbance of visual motion perception of unknown origin: the subject perceives a series of discrete stationary images trailing in the wake of otherwise normally moving objects ».

[45] « Palinopsie » : du Grec pour voir (*opsie*) encore (*palin*).

[46] Nous avons traduit *akinetopic palinopsia* directement de l'anglais.

les autres formes de palinopsie (voir fig. 2.15) sont semblables à la façon dont un mouvement est capté par les chronophotographies d'Étienne-Jules Marey (1830-1904) à la fin du XIXe siècle (fig. 2.16).

Figure 2.15 : Photo stroboscopique à expositions multiples
Image de Dubois et VanRullen (2011, p. 2)

Figure 2.16 : Gull in Flight
L'image prise par Marey (c. 1883) provient de Prodger (2003, p. 6).

Au lieu de laisser derrière lui des poses distinctes, un objet en mouvement peut aussi créer une longue traînée visuelle continue, comme si l'image perçue avait été prise par une photographie à longue exposition (Gersztenkorn et Lee, 2015, p. 3). Il est facile de voir un lien entre les traînées visuelles, la segmentation d'un mouvement en poses discrètes et le mouvement animé qui est produit par une suite d'intervalles. Une patiente souffrant d'akinétopsie compare même les images multiples et floues laissées par le mouvement de son bras aux intervalles dessinés par un animateur (Wolfe *et al.*, 2019, p. 254). Cités par Gersztenkorn et Lee (2015, p. 3), Sierra-Hidalgo et de Pablo-Fernández (2013) décrivent le cas d'un patient, qui compare l'effet produit par les traînées aux images de Neo évitant des balles *dans The Matrix* (The Wachowskis, 1999). Le fait d'associer l'akinétopsie à l'animation se fait presque instinctivement, car l'individu atteint du trouble semble voir le monde comme un animateur qui cherche à décomposer un mouvement en poses distinctes ou intervalles pour être en mesure de l'animer. Cette analogie est renforcée par la beauté des images qui sont utilisées pour illustrer certaines manifestations plus cohérentes du phénomène et par le fait que les chercheurs ont créé leurs exemples en utilisant une approche animée. Cependant, comme nous le verrons au prochain chapitre, ce type de comparaison peut induire en erreur, car la palinopsie akinétopsique n'est pas une forme de « perception animée ». Elle est un trouble neurologique visuel qui peut se manifester de manière dérangeante et débilitante. Par exemple, dans leur revue du phénomène, Gersztenkorn et Lee (2015, p. 3-4) mentionnent que les images qui persistent après un mouvement n'apparaissent pas toujours en séquence. Parfois elles se promènent dans le champ visuel et peuvent durer de quelques instants à quelques jours. Elles peuvent également avoir une nature hallucinatoire. Quand cela arrive, les images persistantes n'ont pas la même résolution que la scène dans laquelle elles s'infiltrent et peuvent s'intégrer à des éléments existants. Dans un exemple, les auteurs décrivent comment le haut d'un immeuble est transplanté sur le toit d'un autre immeuble.

Les types d'agnosie ne se limitent pas au mouvement et à la forme. Encore une fois, ce sont les syndromes et troubles visuels qui révèlent l'emplacement des différentes spécialisations dans le cortex visuel. Lorsque le V4 d'un individu est endommagé[47], ce dernier ne peut pas reconnaître les visages familiers (Zeki, 1998a, p. 3). L'individu atteint de ce trouble est même incapable de reconnaître son propre visage dans le miroir (Farah, 2004, p. 93). Ce trouble perceptuel s'appelle la prosopagnosie[48] (Purves *et al.*, 2019, p. 600; Terpening et Watson, 2007, p. 59). Ce phénomène étrange est décrit en 1955 par A. H.[49] (âgé de 51 ans), un patient prosopagnosique, ainsi :

> I can see the eyes, nose, and mouth quite clearly but they just don't add up. They all seem chalked in, like on a blackboard. I have to tell by the clothes or voice whether it is a man or woman, as the faces are all neutral, a dirty grey colour. The hair may help a lot, or if there is a moustache. […] I cannot recognize people in photographs, not even myself. (Pallis, 1955, p. 219)

La reconnaissance faciale est si importante pour notre survie que nous voyons des visages là où il n'y en a pas (p. ex. l'homme dans la lune) (Goodale et Milner, 2013, p. 82-83). Nous reviendrons à ce phénomène qui est une forme de paréidolie (Palmer, C. J. et Clifford, 2020), ainsi qu'à notre hypersensibilité aux visages au chapitre 6, lorsqu'il sera question d'anthropomorphisme et de la distinction « animé-inanimé ». Il y a aussi l'agnosie topographique qui empêche la reconnaissance d'endroits familiers, comme des rues, le magasin du coin ou autres point de repères topologiques (*landmarks*) (Goodale et Milner, 2013, p. 85). Un dernier exemple est l'agnosie aperceptive, résumée comme « une forme d'agnosie caractérisée par une difficulté à faire concorder ou catégoriser des objets » (Benjafield *et al.*, 2010, p. 78). Les gens ayant cette condition sont incapables de copier le dessin d'un objet (Benjafield *et al.*, 2010, p. 78; Benson, D. F. et Greenberg, 1969).

La nature sélective et spécialisée de ces troubles visuels révèle qu'à un niveau fondamental, la perception est modulaire. Il est possible de voir un mouvement sans percevoir la forme (agnosie visuelle) et de voir des formes sans le mouvement (akinétopsie), car ces derniers sont traités par des systèmes différents. Zeki croit que l'image perçue est construite ou assemblée à partir des éléments fournis par les aires visuelles. S'il y a une lésion complète dans le V1, un individu ne voit rien. Cependant, si le dommage est limité à un

[47] Plus précisément, Purves *et al.* (2019) associent ce trouble au cortex temporal inférieur (p. 600).

[48] Le terme *prosopagnosia* vient du grec pour « sans [*a*] le savoir [*gnosis*] du visage [*prosopon*] ». Le « ia » final indique que c'est une condition ou une qualité (Colman, 2015, p. 608).

[49] Pour préserver la confidentialité de leurs patients, les psychologues identifient généralement leurs patients par leurs initiales.

module ou une aire visuelle spécialisée qui intervient plus tard dans le processus visuel, cet aspect particulier ne sera pas incorporé à ce qui est perçu, car cet « attribut [particulier] du monde visuel est inaccessible et incompréhensible » (Zeki, 1992, p. 73). Conséquemment, si une aire visuelle est endommagée, nous percevrons quand même quelque chose. L'image sera peut-être incomplète, mais elle sera constituée des éléments qui ont pu être traités par les aires visuelles en santé. Voilà pourquoi l'individu souffrant d'akinétopsie peut voir un objet au repos (c'est-à-dire : sa forme), mais est incapable de percevoir son mouvement. Le dernier cas décrit dans cette section est celui de Michael May, car son histoire nous donne un indice sur la façon dont le système visuel s'est développé sur une échelle évolutionniste. Il permet également d'illustrer comment la perception se développe et devient de plus en plus sophistiquée au courant d'une vie, surtout durant la phase cruciale de l'enfance jusqu'à l'adolescence. Aveuglé à l'âge de 3 ans (Abrams et Aliano, 2002, p. 1; Huber *et al.*, 2015, p. 1), Michael May subit une greffe cornéenne dans l'espoir de voir normalement de son œil gauche. Malheureusement, l'opération n'a pas l'effet souhaité. Il peut voir un objet en mouvement et même l'attraper, mais il ne peut le reconnaître instantanément. Pour l'identifier, il doit se référer à la couleur de celui-ci, ainsi qu'au contexte. Il explique sa stratégie ainsi : « When I see an orange thing on a basketball court, I assume it's round. But I may not be really seeing the roundness of it » (Abrams et Aliano, 2002, p. 3). Il est également atteint de prosopagnosie et ne peut même pas reconnaître sa propre épouse. Il peut toutefois l'identifier grâce à sa démarche, la longueur de ses cheveux, ses vêtements et sa voix (Abrams, 2002, p. 3).

Le cas de May est intéressant pour les chercheurs qui étudient le développement de la vision, car il démontre dans un premier temps que certains mécanismes perceptuels ne sont pas innés, mais se développent avec l'âge. Citant deux autres groupes de chercheurs, Huber *et al.* expliquent que les fonctions visuelles continuent de se développer de l'enfance jusqu'au début de l'adolescence. L'enfant atteint un seuil adulte de performance entre 5 et 8 ans pour la reconnaissance d'objets. Le seuil de la reconnaissance adulte des visages se situe entre 4 et 6 ans. De plus, le niveau des habiletés perceptuelles acquises durant cette période n'est pas permanent, car celles-ci peuvent diminuer si jamais le système est privé de certaines informations (Huber *et al.*, 2015, p. 7; McKone *et al.*, 2012, p. 74; Nishimura *et al.*, 2009). Lorsque nous perdons l'usage d'un sens ou lorsque certaines parties de notre système perceptuel sont endommagées, la partie du cerveau qui traite ces informations n'est pas délaissée comme un immeuble abandonné ou une machine obsolète. La plasticité cérébrale, qui est la capacité du cerveau à se réorganiser en réaction à des facteurs internes (lésions, etc.) et environnementaux (expériences de vie), est en mesure de réorganiser le système pour que la zone ait une nouvelle tâche (Wood *et al.*, 2009b, p.

71). Nous savons par exemple que les aires visuelles des gens qui sont nés non-voyants sont reprogrammées pour traiter les informations non visuelles (p. ex. auditives et tactiles) (Lazzouni et Lepore, 2014). Lorsque May est devenu aveugle, le signal visuel n'a plus été envoyé à certaines parties de son cerveau. N'ayant plus besoin de ces réseaux neuronaux pour identifier des objets, il est fort probable que les ressources perceptives associées à cette tâche aient été réattribuées par la plasticité cérébrale. Malgré le fait que la neuro-réhabilitation est possible à l'âge adulte (p. 8-9), certaines connexions doivent se faire durant des périodes critiques de l'enfance. Ces périodes critiques sont : « The time when the experience and the neural activity that reflects that experience have maximal effect on the acquisition or skilled execution of a particular behavior » (Purves *et al.*, 2019, p. 543). Si les habiletés ne se développent pas durant cette période charnière, certaines d'entre elles seront perdues à tout jamais. Puisque la perception de la forme est un processus dynamique et complexe, les aires visuelles responsables d'identifier les objets doivent avoir le temps de se développer. Voilà pourquoi May est, selon ses propres mots, un : « blind man with vision » (Abrams et Aliano, 2002). Même si sa vision est physiologiquement rétablie, il est toujours incapable d'accomplir des tâches visuelles que nous tenons pour acquises. C'est une vision sans perception.

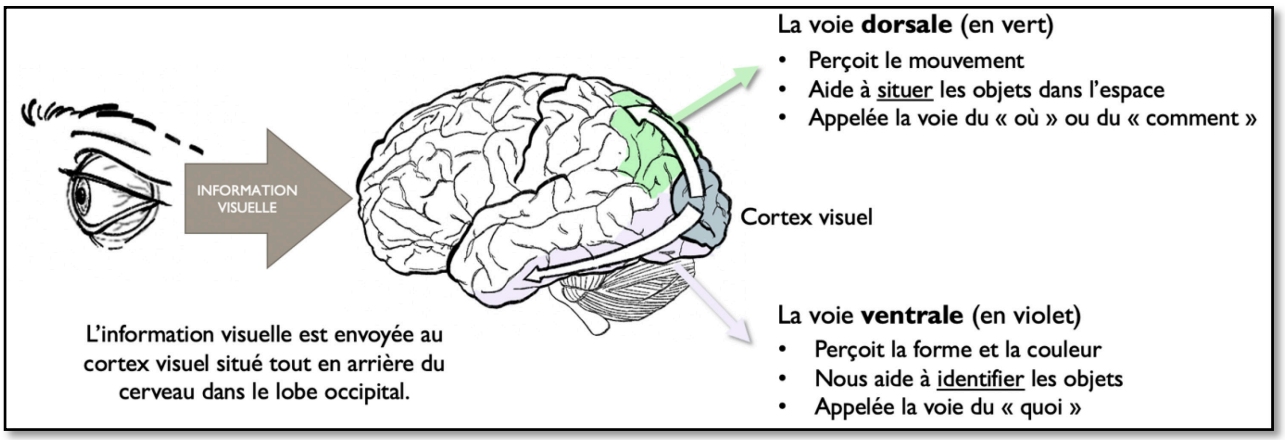
Le cas de May démontre aussi que la perception du mouvement et la perception de la couleur sont associées à des systèmes fondamentaux qui, d'après Abrams et Aliano (2002, p. 3), pourraient être innés, alors que la perception de la reconnaissance d'objets prend du temps à se développer. Comme nous le verrons dans la prochaine section, le mouvement domine la perception pour des raisons de survie, car dans l'environnement, un mouvement signale « proie » pour un prédateur et signale « prédateur » ou « danger » pour la proie. Pour illustrer ce point, Abrams et Aliano (2002, p. 3) citent les observations d'Ione Fine, une professeure et chercheuse qui a étudié le cas de May. Celle-ci utilise l'exemple d'un chat qui essaie d'attraper une balle. Un chat continue de chasser une balle lorsqu'elle roule au plancher, mais dès que la balle s'arrête, le chat peine à la voir et finit par l'ignorer. Voilà pourquoi une souris fige lorsqu'elle a peur. Selon Fine, ce même phénomène explique comment May est en mesure d'attraper une balle au vol, mais est incapable de la reconnaître lorsqu'elle est au repos.

2.5.2. Les voies ventrales et dorsales : forme et mouvement

Les informations du CGL arrivent à l'aire visuelle 1 (ou V1), où elles sont relayées à différentes aires du cortex visuel selon leur spécialisation modulaire. Le système visuel est séparé à cette étape en deux grandes voies anatomiquement et fonctionnellement distinctes. Le système magnocellulaire nourrit la voie dorsale et le système parvocellulaire fournit des informations à la voie ventrale. Ces deux voies sont

nommées pour leur emplacement anatomique dans le cerveau. La partie en dessous du cerveau est le « ventre » ou la zone ventrale, alors que le haut du cerveau est le dos ou la partie dorsale (voir fig. 2.17).

Figure 2.17 : L'hypothèse neurocomportementale des deux voies



Le dessin du cerveau est basé sur une image créée par le neuroscientifique et artiste Selket (2007).

Cette division anatomique est d'abord observée dans « Two Cortical Systems » d'Ungerleider et Mishkin (1982), qui proposent également que chacune de ces voies ait un rôle particulier. Pour décrire succinctement les deux voies, ils surnomment le système dorsal la voie du « où », parce que celle-ci détecte le mouvement et nous permet de déterminer l'emplacement d'un objet dans l'espace. Ils surnomment le système ventral la voie du « quoi », parce qu'elle permet l'identification d'objets (p. 549). Leur hypothèse est reprise et reformulée dix ans plus tard par Melvyn A. Goodale de The University of Western Ontario et par David Milner de l'University of St Andrews en Écosse (Goodale et Milner, 1992). Ces derniers renomment la voie du « où » la voie du « comment » (*how*, en anglais), parce qu'ils réalisent que la détection d'un mouvement n'est qu'une représentation spatiale (Freud, E. *et al.*, 2016, p. 773) qui ne reflète pas adéquatement la dimension motrice ainsi que la fonction ultime du système dorsal. Car, en déterminant l'emplacement, c'est-à-dire le *où*, d'un objet dans l'espace, la voie dorsale nous permet d'interagir avec cet objet et *comment* nous le ferons. Goodale et Milner croient ainsi que la voie est un système visuomoteur (Goodale et Milner, 2013, p. 64) qui opère automatiquement (p. 63) et qui guide la planification et le déroulement de nos mouvements au moment où nous les faisons. Ce *action pathway* (Gallivan et Goodale, 2018), que nous traduisons par « voie de l'action », nous permet d'interagir avec notre environnement en intégrant les relations spatiales entre notre corps et cet environnement. Le système magnocellulaire et la voie dorsale, qui ont permis à nos ancêtres primates de survivre (Goodale et Milner, 2006, p. 661), détectent l'apparition soudaine d'une balle de baseball qui vient vers nous. Selon le contexte, le système dorsal s'assure ensuite de mettre en œuvre la façon dont nous interagirons avec

cet objet. Nous pourrons ainsi automatiquement l'éviter, l'attraper ou le frapper avec un bâton. Alors que la voie dorsale est automatique, la voie ventrale nous permet non seulement de percevoir le monde autour de nous en identifiant les choses par leur forme et leurs couleurs, mais aussi de former des représentations abstraites de la réalité. Ces représentations conscientes de l'identité des objets sont stockées dans le cerveau et sont consultées pour planifier nos actions futures (Goodale et Milner, 2006, p. 661). Goodale et Milner résument la distinction ventrale et dorsale ainsi : « In short, ours is a distinction between vision for perception [ventrale] and vision for action [dorsale] » (2006, p. 660).

Comme nous l'avons vu, les études réalisées avec l'aide de Michael May nous offrent une fenêtre sur la façon dont la vision humaine a évolué. May peut voir le mouvement d'un objet même s'il est incapable d'identifier cet objet, parce que les fonctions du système dorsal/magnocellulaire sont restées intactes durant ses années de cécité. Même si la vision d'un individu aveugle est rétablie, les fonctions permettant la reconnaissance d'objets ne fonctionneront pas, car le processus nécessite un certain apprentissage perceptuel qui doit se faire durant l'enfance (Purves *et al.*, 2019, p. 543). Ces deux systèmes indépendants ne sont pas pour autant hermétiques. Le mouvement d'un objet nous donne des informations via sa forme (un phénomène appelé *form from motion*, en anglais) et, à l'inverse, la forme d'une entité nous fournit des informations sur son mouvement (*motion from form*, en anglais) (Kourtzi *et al.*, 2008). Un bon exemple du fait que le système visuel peut extraire la forme d'une chose via son mouvement est illustré dans le court-métrage animé *Fine Feathers* (Lambart, 1968). Le film met en scène un huard et un geai bleu. Ces derniers sont animés en papier découpé sur un fond noir. Même si Lambart n'inclut pas le cou du huard (sauf pour un collier de plumes au milieu), nous percevons clairement la forme du cou lorsque l'oiseau bouge (voir https ://www.nfb.ca/film/fine_feathers/). Nous décrirons également un ensemble de recherche au chapitre 6 qui démontre que nous extrayons énormément d'informations d'une personne en ne voyant que son mouvement. Bien que Tom Gunning, cité par Torre (2014, p. 37), croit que l'image individuelle ne contient que « la possibilité du mouvement » (Gunning, 2014, p. 41), certaines recherches démontrent que des zones du cerveau associées au mouvement sont activées lorsque nous regardons une image qui contient du mouvement. Ceci indique que ce n'est pas la possibilité d'un mouvement qui est perçu, mais que nous voyons vraiment du mouvement à partir d'une image fixe (mouvement via la forme). Par exemple, les premières recherches sur un phénomène appelé l'élan représentationnel (*representational momentum*, en anglais) suggèrent qu'une image statique a une charge cinétique. En

voyant successivement deux photos d'une personne en action, l'observateur ne se souvient pas toujours d'avoir vu deux images distinctes, mais pense dans certaines conditions expérimentales[50] avoir vu une seule image dont le mouvement représenté serait la fusion des deux images (Dobrez, 2013, p. 391-392; Freyd, 1983a, 1983b). Kourtzi et Kanwisher (2000) démontrent aussi qu'une image montrant un animal ou une personne en action active les parties du cerveau responsables de la perception du mouvement (MT/MST) plus qu'une image représentant une entité au repos (p. 52). Kourtzi (2004) observe également que certaines illusions visuelles statiques comme *The Enigma Illusion* (fig. 2.18) produisent une perception de mouvement.

Figure 2.18 : Enigma Illusion

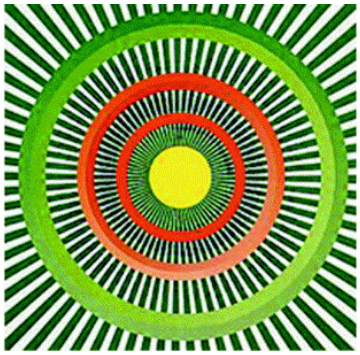


Image prise de Kourtzi (2004, p. 48)

Une artiste est en mesure de suggérer que les formes statiques qu'elle représente bougent en utilisant un ensemble de conventions graphiques et de repères visuels associés au mouvement (voir fig. 2.19). Pour montrer qu'un personnage est en mouvement ou au repos, l'artiste peut utiliser l'orientation du corps [fig. 2.19B.], sa position par rapport au sol [fig. 2.19D.]), ainsi que le placement et l'angle de ses membres (p. ex. bras et jambes [fig. 2.19C.]).

[50] Puisque les deux photos sont prises rapidement, les deux positions présentées au participant ressemblent aux intervalles d'une animation.

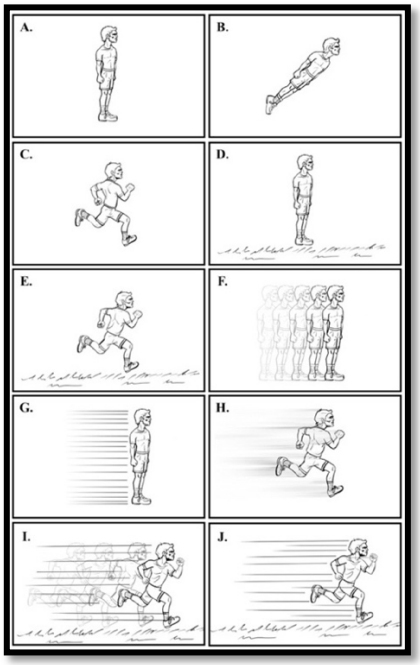


Figure 2.19 : Repères mimétiques et conventions graphiques pour représenter le mouvement
***A.** Corps au repos.*
Les repères visuels mimétiques sont : **B.** Orientation du corps ; **C.** Position et angle des membres du corps et **D.** Position du personnage par rapport au sol.

Juricevic et Horvath (2016) démontrent que ces repères sont employés et perçus de manière additive (p. 11 et 12). Donc, plus il y en a, plus le mouvement sera senti (**E.**).

Les conventions visuelles cinétiques sont : **F.** Positions multiples ; **G.** Lignes de vitesse et **H.** Flou ou *motion blur*, présent dans une photo, mais recréé ici dans un dessin. Il n'est pas nécessaire d'utiliser plus d'une convention graphique pour représenter du mouvement (**J**) à moins de vouloir illustrer des vitesses surhumaines (**I**) (Ibid., p. 13).

Nous sommes aussi aidés par les conventions graphiques employées par l'artiste pour représenter une action. Ces conventions cinétiques, appelées *metaphorical pictorial devices* par Juricevic et Horvath (2016) sont : les lignes de vitesse (fig. 2.19G.) et les images multiples (fig. 2.19F.) qui représentent les positions antérieures d'un mouvement. Les lignes de vibrations sont un troisième type de conventions picturales ou métaphoriques (Cutting, James E, 2002; Friedman et Stevenson, 1975). Dans une photo, le flou ou *motion blur* (fig. 2.19H.) peut aussi indiquer qu'un objet est en mouvement (Cutting, James E, 2002, p. 1182-1183). La perception d'un mouvement implicite dans une image statique suggère d'après Blakemore et Decety (2001) que nous stockons des représentations mentales dynamiques d'actions qui nous aident à nous rappeler de mouvements perçus et à prédire des mouvements futurs (p. 562). La perception est ainsi un processus dynamique et coopératif. Les informations sur la forme et les repères visuels simples (appelées *low-level form cues*, en anglais) affectent la perception du mouvement et, à l'inverse, les repères sur le mouvement peuvent générer des percepts sur la forme. Il est ainsi possible de percevoir de la forme via le mouvement et voir du mouvement via la forme (Kourtzi *et al.*, 2008, p. 234).

Pendant quelques années, les chercheurs pensaient que les voies dorsales et ventrales opéraient de manière indépendante. Les études plus récentes suggèrent cependant que les perceptions visuelles sont le fruit d'échanges d'informations, de coopération et d'interaction entre les deux voies et leurs systèmes respectifs (Purves *et al.*, 2004, p. 281). De plus, malgré la spécialisation des voies, les chercheurs réalisent

que certaines tâches particulières ne se font pas exclusivement par l'une d'entre elles. Par exemple, au moins un sous-module (*subpathways*) de la voie dorsale joue un rôle dans la perception de la forme (Freud, E. *et al.*, 2016, p. 777-778). En plus d'avoir un rôle visuomoteur, la voie dorsale contribue à la perception d'objets en calculant leur structure tridimensionnelle (Freud, E. *et al.*, 2018, p. 1056). D'après les auteurs de cette recherche, le fait que la voie dorsale soit impliquée dans la perception de figures tridimensionnelles (mouvement via la forme) explique pourquoi un patient ayant des lésions dans la voie ventrale est quand même sensible à leur information, même si sa perception d'objet est défaillante (Freud, E. *et al.*, 2017). Nous verrons au sein du chapitre 5 que les stries visuelles (fig. 2.19I et 2.19J) sont produites par la voie ventrale pour aider la voie dorsale à percevoir des mouvements extrêmement rapides.

Finalement, bien que l'hypothèse des deux voies (et la division forme/mouvement) soit encore acceptée et employée aujourd'hui, les études récentes démontrent qu'il y a probablement plus d'échanges d'informations entre les deux systèmes que les premières recherches l'auraient cru. L'animatrice est consciente des échanges continuels entre la forme de son personnage et les mouvements de ce dernier. Elle sait également qu'en animation, le mouvement domine la forme.

2.5.3. Le mouvement avant la forme

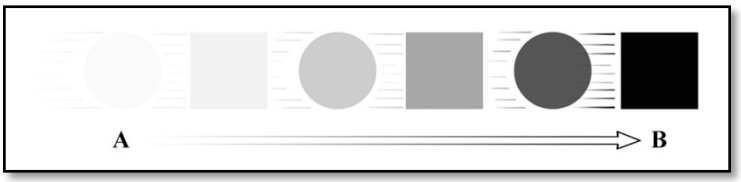
Le système perceptuel perçoit des éléments comme la forme, le mouvement et la couleur séparément en utilisant des processus modulaires ou des systèmes qui opèrent en parallèle. Ces systèmes ne fonctionnent pas à la même vitesse. Des chercheurs, dont le neuroscientifique grec Konstantinos Moutoussis et Semir Zeki, ont examiné la vitesse à laquelle le système traite la couleur, la forme et le mouvement. Leurs expériences démontrent que nous percevons d'abord la couleur, ensuite la forme et finalement le mouvement. Évidemment, la perception de ces éléments opère extrêmement rapidement. La couleur est perçue néanmoins de 60 à 100 millisecondes avant le mouvement (Zeki, 1998a, p. 75). Par conséquent, cette différence temporelle suggère que la perception ne rassemble pas les éléments qui se produisent en même temps dans la réalité, mais regroupe plutôt les attributs qui sont *perçus* ensemble (Moutoussis et Zeki, 1997, p. 397).

Le fait que les informations chromatiques soient captées avant la forme ou le mouvement est surprenant, car en animation et dans d'autres expériences perceptuelles, les informations cinétiques dominent la perception. Un exemple de ce phénomène est celui de l'apparence des intervalles dans une animation traditionnelle. Quand une animatrice chevronnée réalise ces intervalles, elle sait que certaines poses

sembleront trop étranges et invraisemblables en termes anatomiques pour que les mouvements soient fluides. L'animatrice ne craint pas que ces déformations soient détectées, c'est le mouvement et non la forme qui est perçu lorsque le mouvement est rapide. Nous reviendrons à ce phénomène au chapitre 5, car il illustre comment la compression et l'étirement (principe d'animation n° 1) créent des mouvements fluides et dynamiques. Il sera aussi question de la malléabilité du corps animé au chapitre 6, car elle suggère que le système visuel perçoit les personnages réels et les personnages en animation différemment. Pour expliquer le fait qu'en animation le mouvement est perçu en premier, Torre explique la différence de vitesses entre les systèmes ainsi: « [a]nd even though Zeki's studies show that movement is *perceived* last, there are a number of instances in which motion is *cogitated* first » (Torre, 2017, p. 110-111). Pour illustrer que le mouvement est cogité en premier, Torre cite les études et les technologies de surveillance qui reconnaissent un individu à partir de sa démarche unique (*gait recognition*). Nous reviendrons à ces recherches au chapitre 6.

La perception du mouvement est tellement importante qu'elle peut court-circuiter la perception de la forme à des vitesses élevées (Kolers, Paul A. et Pomerantz, 1971; Shiffrar et Freyd, 1990). Kolers et Pomerantz ont observé le phénomène suivant dans une expérience sur le mouvement apparent : si l'objet apparaissant à l'écran change d'apparence d'une image à l'autre dans un mouvement de A à B, l'observateur verra le mouvement d'une *seule* entité qui change constamment d'apparence au lieu de voir deux formes distinctes s'alterner (c'est-à-dire voir un carré, suivi d'un cercle, suivi d'un carré, etc.). Le mouvement doit cependant être extrêmement rapide pour pouvoir homogénéiser la perception de formes hétérogènes (voir figure 2.20 et la vidéo suivante : https://youtu.be/IMe9weEBqJA).

Figure 2.20 : Mouvement avant la forme



La figure et la vidéo ont été réalisées par l'auteur qui a cherché à répliquer une expérience menée par Kolers et Pomerantz en 1971.

Deux films animés récents illustrent parfaitement la force qu'exerce le mouvement sur la perception à des vitesses rapides. Dans *Grands Canons* (2018), Alain Biet présente rapidement des milliers de dessins qu'il a réalisés à l'aquarelle. Ces dessins illustrent tous les objets (p. ex. crayons, pots de peinture, appareils électroménagers, les ustensiles, etc.) que l'artiste multidisciplinaire s'est procuré depuis 2004. Il arrive par moments qu'un mouvement de caméra présente les dessins qui sont disposés sur une table, mais,

généralement, l'inventaire se fait en captant chaque dessin pour quelques photogrammes. Ce dessin est alors substitué par un autre dessin, qui est placé exactement au même endroit que son prédécesseur. L'enchaînement d'une multitude de dessins placés au même endroit que le précédent crée un effet curieux qui illustre bien la dominance du mouvement. Car, au lieu de voir chaque objet individuellement, nous voyons plutôt une seule entité collective qui se métamorphose rapidement. L'effet de mutabilité (similaire à celui produit par l'expérience de Kolers et Pomerantz [1971]) est accentué par le fait que les objets ne sont pas aléatoires, mais sont présentés selon leur catégorie ou leur type. Dans le cas d'une séquence montrant des pinceaux, par exemple, nous n'avons pas le temps d'admirer ou même d'identifier chaque pinceau. Nous voyons plutôt un seul « pinceau symbolique » dont la forme est par instant ronde, biseautée, courte ou plate et dont le manche change de longueur ou de couleur selon le modèle affiché pour une fraction de seconde. Le même effet est observé dans *Gun Shop* (Smith, 2019), où une série continuelle d'armes à feu défilent à l'écran au rythme de 24 armes à feu différentes par seconde[51]. Dans ce film animé, qui est une réflexion sur la culture des armes à feu aux États-Unis, nous percevons une seule entité, c'est-à-dire *l'arme à feu*, qui change de forme et de couleur. Le museau grossit ou rétrécit, le manche change de couleur, mais les images défilent trop rapidement pour que nous ayons le temps de reconnaître et de nous souvenir de l'objet. Tout comme les objets du quotidien figurant dans *Grands Canons* apparaissent comme des entités catégoriques mutables, c'est « l'Arme à feu » (au singulier et avec un A majuscule) qui est perçue dans *Gun Shop.* C'est à travers ce mouvement que nous avons des indices sur la forme qui est réduite à une catégorie, un type, une entité. Bien que la vision soit modulaire, il est important de préciser qu'à moins d'être atteints de troubles visuels sérieux, nous ne voyons jamais une vision fragmentée de la réalité, nous percevons plutôt des percepts complets. De nombreux concepts décrits dans ce chapitre, dont le rôle joué par le fond ou la périphérie d'une image, la force de la silhouette et la nature holistique de la perception permise par l'hémisphère droit, sont intimement associés à des concepts issus de la psychologie de la Gestalt.

[51] Pendant deux ans, le réalisateur et animateur Patrick Smith a pris les photos des armes, souvent en cachette, de musées et de magasins. Il dut ensuite utiliser des procédés numériques pour traiter les images et s'assurer que chaque arme apparaissant à l'écran soit parfaitement centrée. Il utilise comme repère la gâchette, car la taille de celle-ci est identique peu importe l'arme à feu (Wilson, 2019).

2.6. La Gestalt

La psychologie de la Gestalt, qui est aussi appelée la psychologie de la forme, est fondée par Max Wertheimer (1880-1943), Kurt Koffka, Wolfgang Köhlers et Jurt Lewin. Opposée au structuralisme qui propose qu'un percept visuel puisse être compris en analysant les parties qui le composent, la psychologie de la Gestalt postule plutôt qu'un « tout perceptuel est différent de et non réductible à la somme de ses parties » (Palmer, S. E. et Fayard, 1999, p. 55). D'après les gestaltistes, le système visuel cherche ainsi à regrouper des éléments distincts pour être en mesure de percevoir des entités holistiques. Par exemple, au lieu de voir une roue, une tête, un guidon, un pied, deux yeux, une selle, un bras, une chaîne, une jambe et une autre roue, nous voyons « un cycliste ». Que la personne et sa bicyclette soient stationnaires ou en mouvement, le percept est le même, car aussitôt que la perception décide que des choses peuvent être assemblées, une unité formelle, appelée « Gestalt » sera constituée et supplantera ses composantes. La perspective tire son nom de « Gestalt », le mot allemand pour « forme », « motif », ou « configuration » (Rock et Palmer, 1990, p. 89)[52]. Une image qui est souvent employée pour illustrer la théorie est la figure 2.21 (van Tonder et Ejima, 2000, p. 149). Au premier abord, celle-ci semble ne représenter qu'une masse disparate de points noirs ou alors un terrain incliné ou enneigé (p. 151). Néanmoins, après quelque temps, une forme émerge, se détache de la scène et nous voyons un dalmatien[53]. Un autre principe gestaltiste important est celui du principe figure/fond qui propose que certains éléments d'une image sont perçus comme étant la figure, qui est en avant-plan, alors que d'autres éléments sont relégués au fond ou à l'arrière-plan (Wolfe *et al.*, 2019, p. 112). Le psychologue danois Edgar Rubin découvre ce phénomène et l'illustre à l'aide de l'illusion du vase-visage représenté à la figure (1.4) (Rock et Palmer, 1990, p. 85).

Figure 2.21 : Gestalt

Attribuée à R. C. James, cette image est prise de Marr (2010 [1982], p. 101)

[52] D'après Hergenhahn (2008, pp. 458-459), l'idée centrale de la Gestalt vient du fait que Max Wertheimer a étudié, de 1898 à 1903, avec Christian von Ehrenfels, car ce dernier croit que les sensations contiennent des *Gestaltqualitäten* (des qualités formelles) qui ne sont pas présentes dans les sensations isolées. Max Wertheimer a aussi étudié avec Carl Stumpt et Friedrich Schumann à Berlin. Stumpt a développé le *act psychology*, qui utilise l'introspection pour comprendre l'interaction entre les phénomènes mentaux et les événements physiques. L'*act psychology* et l'approche gestaltiste sont deux formes de phénoménologie, qui est l'étude objective des phénomènes. La phénoménologie des gestaltistes remplace l'introspection des premiers psychologues.

[53] Curieusement, van Tonder et Ejima (2000) rapportent qu'un observateur peut voir d'autres formes lorsqu'il n'est pas familier avec l'image. Le fait de savoir a priori ce qui est caché dans la scène influence ainsi ce qui est perçu.

Il est possible de tracer un parallèle entre la figure/fond et la vision périphérique décrite à la section 2.3.1. Lorsqu'un personnage est présent soit devant nous ou dans une œuvre d'art (plan animé, tableau, case de bande dessinée, etc.), il devient la figure et nous portons peu d'attention à son environnement (c'est-à-dire le fond). Toutefois, même si le contexte ne semble pas nous intéresser, il enrichit notre monde visuel sans que nous en soyons conscients. Après avoir perdu sa vision stéréoscopique et sa vision périphérique, l'éminent neurologue et auteur Oliver Sacks souligne l'importance fondamentale et souvent négligée jouée par la vision périphérique dans le passage suivant :

> We do not honor our peripheral vision as much as we should, for most of the time we have little explicit consciousness of it. We look, we fixate, we target with our foveas, our central vision. But it is our peripheral vision, surrounding this, which gives us a context, a sense of how whatever we are looking at is situated in the wider world. And it is especially movement that peripheral vision is tuned to: peripheral vision alerts us to unexpected movements on either side, and then central vision moves in to target these. (Sacks, 2010, p. 195)

La vision périphérique est donc importante et son absence appauvrit la qualité de notre monde visuel. L'illusion de Rubin illustre bien ce point, car même si nous ne sommes pas conscients de l'élément qui est relégué au fond, le vase est créé par le visage et le visage dépend du vase.

Nous reviendrons à la psychologie de la Gestalt, car son histoire est intimement liée à l'étude du mouvement apparent. Maintenant que les étapes préliminaires de la vision ont été présentées, nous possédons les outils pour comprendre les illusions employées en animation. La question centrale qui sera abordée dans les deux prochains chapitres est la nature du mouvement animé. Plus précisément, la question est : comment un mouvement est-il perçu à partir d'une série d'images fixes ?

CHAPITRE 3

Le mythe de la persistance visuelle

Comment se fait-il que nous voyions du mouvement lorsqu'une suite d'images fixes est projetée ou affichée sur un écran à une certaine cadence ? Ou plus généralement, comment se fait-il que nous percevions du mouvement quand nous regardons un film ? Cette question est fondamentale à la nature du cinéma, car tout film, animé ou en PVR, qu'il soit imprimé sur pellicule ou encodé dans un fichier numérique, est composé d'une série d'images fixes qui ne semblent bouger que lorsqu'elles sont affichées à une certaine cadence. Si nous étions incapables de voir ces photogrammes bouger, nous ne verrions qu'un diaporama et le cinéma n'existerait pas. Il est donc impératif d'expliquer scientifiquement cette illusion perceptuelle qui est non seulement au cœur du cinéma, mais qui est aussi constitutive du cinéma lui-même. Ce chapitre et le prochain (3 et 4) ont donc comme objectif de développer une compréhension approfondie du mouvement animé. Ce chapitre vise à démystifier la théorie de la persistance rétinienne, alors que des explications scientifiques de la perception du mouvement animé seront fournies au chapitre suivant.

Il est pertinent à cette étape de se demander pourquoi il est si important de démanteler la théorie de la persistance rétinienne et son successeur, la théorie de la persistance visuelle. Étant donné que ces théories sont simples et élégantes et qu'elles sont ancrées dans les écrits cinématographiques depuis le XIXe siècle, ne serait-il pas plus facile d'essayer de les restaurer ? Nous avons démontré au dernier chapitre que la théorie de la persistance rétinienne est infirmée par le fait que la projection des photons sur la rétine ne forme pas des images rétiniennes qui sont visibles. Mais qu'en est-il de la théorie de la persistance visuelle ? Imaginons que le système visuel est une usine produisant des sensations et des perceptions à partir de stimuli. Si la persistance visuelle existe vraiment et qu'elle est responsable de la perception du mouvement au cinéma, il importe peu que ce mouvement soit produit sur le plancher de l'usine (la rétine) ou dans les suites exécutives du cerveau. Si l'essence de la théorie est vraie, c'est-à-dire qu'une forme de persistance est utilisée pour percevoir le mouvement, il ne serait pas nécessaire de rejeter la théorie de la persistance visuelle. Évidemment, il faudrait éviter d'employer le terme « persistance rétinienne » en français et utiliser le concept plus général : « persistance visuelle », comme le font déjà les auteurs anglophones (*persistence of vision*). Il faudrait également adapter la théorie pour inclure les avancées et découvertes de la science cognitive. Cette cure de jouvence serait une façon efficace de ne pas bouleverser les fondements théoriques du cinéma. Malheureusement, ce travail superficiel serait en vain, car même si la

persistance visuelle est un vrai phénomène, elle ne produit pas de mouvement cinématographique. Les savants adhérents à la psychocinématique (voir chap. 1) ont déjà tenté de démystifier la théorie et de la chasser des études cinématographiques, mais, comme nous le verrons dans ce chapitre, elle persiste, surtout en études de l'animation. Pour comprendre la nature du mouvement cinématographique (appelé « apparent » par les scientifiques), il faut commencer par démanteler la théorie de la persistance visuelle. Mais juste parce que la théorie est erronée, il ne suffit pas de la rejeter du revers de la main. Il faut d'abord retracer et comprendre ses origines, car la persistance rétinienne est une théorie unifiante et générale qui, au courant de sa longue histoire, a regroupé, imprégné et fusionné un ensemble de concepts apparentés, mais fondamentalement différents. Après avoir dénoué et identifié ces différents concepts, il sera alors possible de démontrer que chacun de ces phénomènes perceptuels n'a rien à voir avec la perception du mouvement réel ou cinématographique. Finalement, exposer les origines historiques de la persistance visuelle répondra à une autre question fondamentale qui est au cœur du cinéma : pourquoi est-ce que la lumière du projecteur ne papillote pas ?

3.1 L'histoire de la persistance rétinienne

Il peut sembler facile d'écarter la théorie de la persistance rétinienne sous prétexte qu'il s'agit d'une croyance archaïque, mais elle est la théorie scientifique dominante au XIXe siècle. Anderson et Anderson (1993, p. 3) ont raison de proposer qu'elle constitue en quelque sorte le mythe fondateur du cinéma, car tout au long de la conception, de la gestation et de la naissance du septième art, la théorie est l'étincelle rationnelle qui explique le miracle animé. Mais, à la différence d'un mythe, la théorie est ancrée fermement dans les écrits et études scientifiques de l'époque, qui sont infusés d'idées et concepts hérités de l'Antiquité. Il est important de relater l'histoire de la théorie de la persistance visuelle, car nous croyons comme Cobb que :

> Every idea, no matter how outdated, was once modern, exciting and new. We can be amused at strange ideas from the past, but condescension is not allowed–what seems obvious to us is only that way because past errors, which were generally difficult to detect, were eventually overcome through a great deal of hard work and harder thinking. (Cobb, 2020, p. 13)

Selon l'historien français du cinéma Georges Sadoul, c'est le professeur, inventeur et physicien belge Joseph Antoine Ferdinand Plateau (1801-1883) qui est responsable de la diffusion de la persistance rétinienne dans les écrits francophones (Sadoul, 1948, p. 7-23). Plateau est responsable de découvertes et d'inventions qui, selon certains, font de lui à la fois le « père » du cinéma (Mandolini, 1994, p. 10); Wautier *et al.* (2012, p. 258) et un des grands scientifiques du XIXe siècle (p. 276). Pour d'autres, il serait même le

premier animateur (Beckerman, 2003, p. 6). Bien qu'il ait consacré une partie importante de sa vie à étudier les sensations rémanentes, il n'est pas le premier à étudier le phénomène. Il est important de présenter le travail de ceux qui lui ont ouvert la voie, car, comme il sera démontré, rare est l'invention ou la découverte qui émerge du néant et qui n'est pas fondée sur les assises du passé.

Le principe fondamental qui sous-tend l'idée de la persistance visuelle est qu'une sensation est une force[1] qui se propage à travers le système perceptuel et continue d'être sentie après que le stimulus ait disparu. Le concept vient probablement de nos propres expériences sensorielles subjectives. Par exemple, nos oreilles bourdonnent après un concert et il est difficile de purger l'odeur âcre de la moufette de nos narines. L'existence d'une forme de persistance visuelle semble aussi prendre racine dans le fait qu'une lumière intense laisse sa marque sur le système visuel. La première description de ce phénomène est attribuée à Aristote. Dans *De Insomniis*[2], ce dernier explique que des impressions sensorielles laissent des traces rémanentes dans les organes sensoriels qu'elles affectent. Une sensation peut ainsi persister de la même manière qu'un objet en mouvement préserve la force qui lui a été transférée (Aristotle, 1996, p. 89-91). Aristote écrit :

> […] if we close our eyes after looking towards the sun or some other shining object, then if we watch carefully, it appears directly in line with our original vision, first in its own colour; then it changes to crimson, next to purple, until finally it turns black and disappears. (Aristotle, 1996, p. 91)

Nous trouvons des échos de ces concepts, ainsi que quelques observations supplémentaires, dans les cahiers personnels de Léonard de Vinci. Il y décrit plusieurs aspects de la persistance visuelle et des images rémanentes. Par exemple, il mentionne qu'un objet lumineux laisse une impression rémanente dans l'œil (da Vinci, 2008, p. 75) et il remarque que cet objet tracera un cercle de flammes si nous le bougeons (p. 132). De Vinci souligne également le caractère rémanent des impressions sensorielles. Il écrit : « Every impression tends to permanence or desires permanence. This is shown in the impression made by the sun in the eye of the spectator and in the impression of the sound made by the clapper as it strikes the bell » (p. 71). Malgré l'influence du personnage sur le plan artistique, la contribution scientifique de Léonard de Vinci à l'étude du phénomène est relativement limitée, car ses carnets personnels ne sont pas publiés de

[1] De Vinci compare la nature rémanente des sensations à l'impetus qui, d'après Aristote, est la force responsable du mouvement (da Vinci *et al.*, 2008, p. 71). Nous reviendrons à l'impetus au chapitre 7 lorsqu'il sera question de la représentation des forces physiques, telle la gravité, en animation.

[2] *De Insomniis* (Sur les rêves), est un des huit ou neuf traités d'Aristote recueillis dans *Parva Naturalia* (Bydén, 2018, p. 2).

son vivant. En fait, il faudra attendre la traduction et la publication de ces derniers en anglais et en allemand par Jean Paul Richter à la fin du XIXe siècle (Richter, 1880) avant que nous ne puissions prendre acte de toute l'envergure et l'importance du travail scientifique de Léonard de Vinci (2008, p. v).

L'étude scientifique des sensations rémanentes commence progressivement au XVIIIe siècle avec la publication de *Opticks or a Treatise of the Reflections, Refractions, and Colours of Light* par Sir Isaac Newton (2016 [1730]). Après avoir démontré que la lumière du soleil qui tombe sur la rétine n'est pas blanche ou pure, mais est « un mélange hétérogène de rayons » (2016 [1730], p. 63), Newton encourage ses prochains à poursuivre les études qu'il a amorcées en leur proposant une série de questions et d'avenues de recherches. Il s'interroge notamment sur la façon dont les rayons de lumière excitent la rétine. Il suggère qu'une sensation pourrait provoquer des vibrations qui se propagent à travers les nerfs optiques jusqu'au cerveau, comme c'est le cas avec le mouvement ou la chaleur (p. 15). Il propose aussi que les sensations, ainsi qu'un bon nombre de phénomènes physiques, soient transmises et persistent, à la fois dans la nature et dans le système perceptuel, sous la forme d'ondes ou de vibrations. Il croit que celles-ci seraient semblables aux vagues concentriques causées par la chute d'une roche dans de l'eau stagnante (p. 347-348). Bien qu'Aristote ait déjà établi la notion selon laquelle les sensations vibrent et persistent comme un mouvement dans le système, Newton modernise et renforce ces idées avec la rigueur de la méthode scientifique et en y incorporant les notions d'anatomie de son époque. Il écrit :

> And when a Man by a stroke upon his Eye sees a flash of Light, are not the like Motions excited in the Retina by the stroke? And when a Coal of Fire moved nimbly in the circumference of a Circle, makes the whole circumference appear like a Circle of Fire; is it not because the Motions excited in the bottom of the Eye by the Rays of Light are of a lasting nature, and continue till the Coal of Fire in going round returns to its former place? And considering the lastingness of the Motions excited in the bottom of the Eye by Light, are they not of a vibrating nature? (Newton, 2016 [1730], p. 347)

Il est possible que ce soit à partir des observations de Newton que la persistance visuelle commence à être associée avec la perception du mouvement. Newton mentionne également le fait que l'image rémanente a une durée, mais ne fournit pas de mesures (Wade et Swanston, 2013, p. 222). Il faut attendre les observations du Chevalier Patrice d'Arcy (1725-1779) pour avoir des mesures plus précises.

Né en Irlande d'une mère irlandaise et d'un père français, d'Arcy déménage à Paris à quatorze ans. Bien qu'il soit plus connu pour ses recherches en mathématiques et pour ses exploits martiaux[3], d'Arcy effectue

[3] Wade trouve un petit portrait du chevalier dans un livre sur l'histoire de la balistique (Wade, 1997, p. 125).

et présente à l'Académie royale des sciences[4] une série d'expériences sur les images rémanentes. Il construit une machine à laquelle est posée une croix sur un axe rotatif. Chaque bras de la croix (en acier et d'une longueur ajustable) est muni d'une « griffe » qui permet de tenir un objet. D'Arcy décrit l'engin ainsi :

> Il était donc facile, au moyen d'une pendule à secondes, de mesurer exactement la durée de chaque révolution d'un bras de la croix, & par conséquent de voir quelle vitesse était nécessaire pour qu'un charbon allumé, par exemple, fixé à un des bras de la croix, donnât l'apparence d'un cercle de feu continu[5]. (d'Arcy, 1765, p. 19)

L'expérience est importante, parce que d'Arcy semble être le premier à utiliser un système précis pour mesurer la durée d'un phénomène rémanent[6]. En 1807, Thomas Young, qui a formulé la théorie trichromatique (voir chap. 2), continue l'étude du phénomène et « affirme, mais sans citer aucune expérience » (Plateau, 1829, p. 6), qu'une image rémanente peut durer entre 1/100 et ½ seconde (et plus) (Young, 1807b, p. 455).

C'est à ce stade dans l'histoire des images rémanentes qu'apparaît Joseph Plateau. Ce dernier, inspiré par le travail de Michael Faraday (Plateau, 1829, p. 6), reprend en quelque sorte le flambeau ardent de la persistance visuelle, car il précise au début de sa dissertation qu'il cherche, grâce au système développé par D'Arcy, à valider les résultats de Young (Plateau, 1829, p. 6). Ses recherches sont aussi animées par les idées et préconceptions d'Aristote et Newton qui proposent que les sensations visuelles laissent des traces rémanentes sur la rétine et que celles-ci se propagent avec la vitalité vibrante d'une onde ou d'un mouvement. Mais pourquoi les découvertes de Plateau sur le mouvement et la persistance rétinienne, plutôt que celles d'un de ses contemporains (p. ex. Faraday), captent-elles l'imaginaire scientifique et artistique de l'époque ? Bien que nous croyions que l'influence et l'apport de Plateau résultent d'une confluence de facteurs qui seront présentés dans les pages suivantes, nous proposons qu'ils soient fondés en grande partie sur l'attrait du dessin animé et la résonance émotionnelle d'une tragédie grecque. Avant de relater cette histoire, puisque la persistance visuelle est le concept développé pour expliquer les images

[4] D'après Wade (1997, p. 125), l'expérience est tellement impressionnante qu'elle est rapportée dans le rapport annuel de l'Académie royale des sciences (Wade, 1997, p. 124).

[5] Pour faciliter la compréhension de cette citation écrite en vieux français, nous l'avons retranscrite en français contemporain.

[6] Malheureusement, l'auteur omet certains détails. Se basant sur les données fournies par d'Arcy, nous estimons que le charbon ardent doit tourner à un rythme de 4,4 rotations par seconde pour que le cercle lumineux se ferme. Cette valeur n'est cependant pas très utile, car l'auteur ne rapporte pas les dimensions de l'engin, ni la distance entre l'engin et le « spectateur ».

rémanentes, il est pertinent d'étudier celles-ci. Que sont-elles vraiment et jouent-elles un rôle dans la perception du mouvement ?

3.2 Les images rémanentes

D'après *A Dictionary of Psychology*, publié par l'université d'Oxford, un *after-effect*[7] » ou un phénomène qualifié de rémanent désigne : « Any phenomenon occurring some time after its cause, especially (in psychology) a delayed sensory or perceptual experience » (Colman, 2015, p. 16). Lorsqu'il est question d'une image rémanente, celle-ci est : « A visual sensation that persists after exposure to some intense stimulus; also, an illusory colour produced by exposure to an intense stimulus » (Sekuler et Blake, 2002, p. 612). Si nous regardons une ampoule incandescente, même pour quelques instants, nous continuerons de voir la lumière de l'ampoule après avoir fermé les yeux. Cette tache lumineuse est une image rémanente (Schwartz, Bennett Lowell et Krantz, 2019, p. 164). Généralement, ce type d'image rémanente disparaît rapidement. Elle peut cependant persister et changer d'apparence ; plus nous avons regardé le stimulus initial longtemps et plus celui-ci était intense. Par exemple, si nous sommes plongés dans le noir pour plus de 15 minutes et nous sommes exposés à un éclat de lumière, il se peut que nous voyions trois types d'images rémanentes successives. La première image rémanente perçue s'appelle une image *Hering* (Colman, 2015, p. 337) et elle est généralement positive (Sperling, 1960, p. 29). Lorsqu'un *after-effect* visuel est positif, les caractéristiques du stimulus initial (p. ex. la couleur et sa polarité lumineuse) sont préservées dans la sensation rémanente. Conséquemment, les zones lumineuses de la source resteront claires et les zones foncées resteront foncées dans l'image rémanente (Colman, 2015, p. 586). L'image Hering peut être remplacée après environ 50 millisecondes par une image Purkinje[8]. Celle-ci a une valeur négative et peut durer quelques secondes si les yeux ne bougent pas (Colman, 2015, p. 624). Lorsqu'une image rémanente est négative, sa polarité est à l'opposé du stimulus original (Wolfe *et al.*, 2019, p. 155). Conséquemment, les zones claires d'une image paraissent foncées dans l'image rémanente et les zones foncées paraissent claires (Colman, 2015, p. 496). Il est possible de voir une image rémanente négative en suivant les instructions accompagnant la figure 3.1.

[7] Le terme est adapté de l'anglais *aftereffect* (Antidote, 2022a).

[8] L'effet est nommé d'après Jan Evangelista Purkinje (1787-1868), le grand physiologiste tchèque (Hergenhahn, 2008, p. 242). Techniquement, Purkinje est Autrichien, car il est né dans le royaume de Bohême qui, à sa naissance, fait partie de l'empire d'Autriche.

Figure 3.1 : Démonstration d'une image rémanente positive

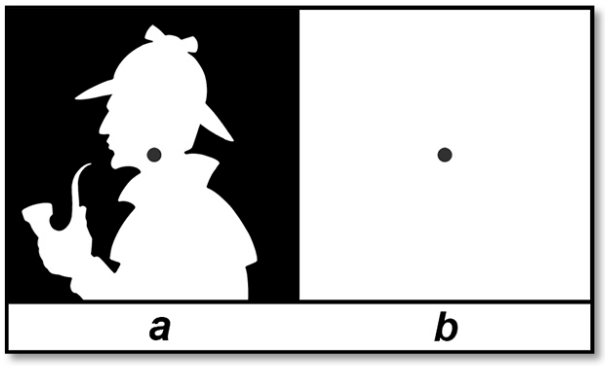


Image créée par l'auteur.

Pour voir l'image rémanente négative, il faut commencer par fixer le cercle gris qui est au centre de la silhouette représentée à la figure 3.1a. Après une trentaine de secondes, l'image négative devrait apparaître en fixant le cercle gris dans la case de droite (3.1b). Cette figure est basée sur la démonstration de Schiffman (2001, p. 126).

Il n'y a pas que les images qui produisent des sensations rémanentes, car un stimulus d'un certain type produit une sensation rémanente du même type. Une couleur persistante peut ainsi produire une couleur rémanente et, comme cela sera décrit à la section 3.2.2, le fait de fixer un mouvement constant (p. ex. une chute d'eau) peut ainsi provoquer un mouvement rémanent [*motion aftereffect* (MAE)]. Dans l'image Purkinje, les couleurs sont inversées ou négatives, car elles seront remplacées par leurs couleurs complémentaires (van Lier *et al.*, 2009, p. R323). Une couleur est dite complémentaire lorsqu'elle se retrouve de l'autre côté du cercle chromatique par rapport à une couleur (Schwartz, Bennett Lowell et Krantz, 2019, p. 164). Un point rouge devient ainsi cyan et un point jaune devient bleu dans une image négative de Purkinje (Livingstone, 2014 [2002], p. 64)[9].

Bien que la cause des images et des sensations rémanentes soit un sujet ouvert, l'explication traditionnelle du phénomène repose sur le principe voulant que les photorécepteurs de la rétine soient comme des muscles qui peuvent se fatiguer lorsqu'ils sont surstimulés. Par exemple, Thomas Young, écrivant en 1807, explique l'apparition d'une couleur rémanente négative et complémentaire ainsi :

> The reason of this appearance is probably that the portion of the retina, or of the sensorium, that is affected, has lost a part of its sensibility to the light of that colour, with which it has

[9] La fiabilité du cercle chromatique pour déterminer la complémentarité de l'*after-effect* (Purkinje) est cependant remise en question par une recherche récente qui démontre que la moitié des couleurs sur un cercle chromatique (de l'orange au vert chartreuse) produit des teintes violettes plutôt que la couleur complémentaire, telle que représentée sur le cercle (Koenderink, van Doorn, Witzel *et al.*, 2020).

> been impressed, and is more strongly affected by the other constituent parts of the white light. (Young, 1807b, p. 455)

D'après cette hypothèse, les images rémanentes négatives seraient causées par le blanchissement ou la sursaturation des photorécepteurs qui doivent récupérer après avoir été surexcités ou « blanchis » par une lumière intense (Gregory, 1973 [1966]; MacLeod et Hayhoe, 1974, p. 49; Williams, D. R. et MacLeod, 1979). Après qu'un photon ait été absorbé par une molécule de rhodopsine dans un bâtonnet, une cascade biochimique, appelée la photoactivation ou le blanchissement (*bleaching*, en anglais) est amorcée. Durant ce processus complexe, le bâtonnet perd sa charge électrique (Wolfe *et al.*, 2019, p. 50). Plus la lumière est intense, plus les photopigments sont épuisés (Burkhardt, 1994, p. 1091) et prennent du temps à récupérer (Williams, D. R. et MacLeod, 1979, p. 867). Pendant cette période de recharge, le stimulus initial peut encore être perçu sous la forme d'une sensation rémanente. La nature de celle-ci est déterminée par un ensemble de facteurs qui sont tous associés au stimulus initial (p. ex. son intensité, sa durée et le degré de contraste entre le stimulus et l'arrière-plan) (Gersztenkorn et Lee, 2015, p. 2). Selon cette explication, les images rémanentes résultent donc d'activités biochimiques qui opèrent au niveau de la rétine. Les recherches plus récentes indiquent cependant que le cortex contribue aussi à certaines formes d'images rémanentes (Dong *et al.*, 2017; Shimojo *et al.*, 2001, p. Dong; van Lier *et al.*, 2009). Il semble ainsi que les images rémanentes soient causées à la fois par des mécanismes rétiniens et corticaux.

Les travaux cités jusqu'à présent démontrent qu'il existe une forme de persistance visuelle. Elle peut se manifester sous la forme de couleurs ou d'images rémanentes qui sont positives ou négatives, mais celles-ci ne bougent pas. Qu'arrive-t-il lorsqu'elles sont combinées ou fusionnées ? Produisent-elles un mouvement cinématographique comme la théorie de la persistance visuelle le propose ? La réponse est négative, car la fusion d'images rémanentes crée un effet similaire à un collage, à une superposition d'images qui sont statiques. Dans le cas d'une fusion d'images, nous ne percevons pas un mouvement continu (Anderson, J. D. et Anderson, 1980, p. 77), car comme le déclare Zacks : « […] fused images are not moving images » (2014, p. 147). D'après Anderson et Anderson (1993, p. 4), une fusion d'images rémanentes positives pourrait ressembler à l'effet illustré par Marcel Duchamp dans sa peinture *Nu descendant un escalier* (1912) ou être comparée à un photogramme tiré du film d'animation *Pas de deux* de Norman McLaren (1968) – voir figure 3.2.

Figure 3.2 : Pas de deux

Image prise du film.

3.2.1 Le thaumatrope

Bien que ces recherches démontrent que les images rémanentes ne produisent pas de mouvement (apparent ou réel), il semble que le thaumatrope fonctionne grâce à un phénomène perceptuel qui pourrait être une forme de persistance visuelle (Galifret, 2006, p. 370-371; Lutz, 1998 [1920], p. 17-18)[10]. Le thaumatrope, inventé par John Aryton Paris à la fin des années 1820 à Londres, est un disque en carton auquel sont attachées deux cordes (Wade, 2004b, p. 1026). Il y a une image sur chaque facette du disque (voir figure 3.3). En tournant les cordes rapidement, ces deux images sont fusionnées. Par exemple, les fleurs figurant sur le recto du disque représenté à la figure 3.3A sont fusionnées avec le pot qui est dessiné sur le verso du disque (fig. 3.3B)[11]. Une vidéo de la fusion des deux côtés peut être visionnée au lien suivant : https://youtu.be/ZfBfnf1pW6w. Bien que le thaumatrope soit associé à l'animation, au même titre qu'un folioscope (*flipbook)*, cette association peut induire en erreur, car le jouet philosophique est typiquement utilisé pour montrer la fusion de deux images distinctes, plutôt qu'un mouvement élémentaire (Gunning, 2012, p. 495). Puisque les deux images préservent leur apparence, Münsterberg décrit l'effet comme étant une fusion de deux images rémanentes positives (2002 [1916], p. 72).

Figure 3.3 : Thaumatrope

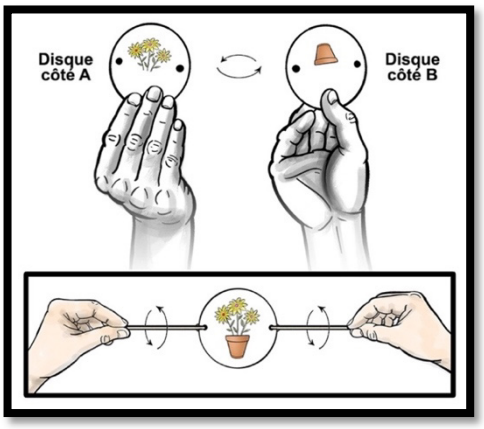


Image créée par l'auteur.

En vérité, le thaumatrope peut aussi afficher un mouvement limité si chaque versant du disque représente deux phases distinctes du même objet effectuant une même action. Par exemple, s'il y a un homme accroupi sur un côté du disque et qu'il y a un dessin de l'homme dans les airs de l'autre côté du disque, nous aurions l'impression que l'homme serait en train de sauter et de retomber continuellement en tournant le disque lentement. L'effet serait similaire au mouvement saccadé d'un GIF animé. L'illusion est cependant précaire, car si le disque est tourné trop rapidement, le mouvement est perdu et les dessins se

[10] Il existe encore un certain doute sur la cause exacte du phénomène. Lutz, un artiste et journaliste écrivant dans les années 1920, attribue sans hésitation l'effet produit par le thaumatrope à la persistance rétinienne. Hugo Münsterberg, un pionnier de l'approche cognitive au cinéma qui écrit à la même époque, est du même avis (2002 [1916], p. 72). En revanche, Galifret, un scientifique écrivant au XXIe siècle, est plus prudent. Il croit que la persistance visuelle pourrait expliquer le fonctionnement du thaumatrope. Malgré sa circonspection, il insiste sur le fait que l'effet n'est pas une fonction rétinienne, mais est d'une nature corticale (2006, p. 371). Jeffrey Zacks (2014, p.143) est encore plus prudent. Il cite le thaumatrope comme un exemple d'une fusion statique d'images, car les images rémanentes ne bougent pas, mais il n'attribue pas directement cette fusion à la persistance visuelle.

[11] À noter qu'un des deux dessins doit être dessiné à l'envers pour que l'observateur perçoive les deux dessins du même côté une fois que le disque tourne.

fusionnent. Nous aurions l'impression que deux hommes, l'un accroupi et l'autre dans les airs, sont sur la même image. Bien que la persistance visuelle puisse expliquer le fonctionnement du thaumatrope, la fusion des images pourrait aussi être expliquée par le phénomène de la simultanéité. Découverte par Wertheimer (1912), la simultanéité sera présentée au prochain chapitre, car elle est associée aux premières études scientifiques sur la perception du mouvement. Si la fusion d'images rémanentes ne produit pas de mouvement, qu'en est-il des mouvements rémanents ? Contribuent-ils au mouvement cinématographique ?

3.2.2 L'illusion de la chute d'eau et les mouvements rémanents

Décrite pour la première fois il y a plus de 2 000 ans par Aristote et Lucrèce[12] (Wade et Verstraten, 1998) et par Robert Addams (1789–1875) en 1834 après qu'il observe les chutes de Foyers situées en Écosse (Wade, 2018b, p. 689), l'illusion de la chute d'eau est un exemple classique d'une sensation rémanente négative associée au mouvement. Pour voir l'illusion, un observateur doit d'abord fixer un point particulier d'une chute d'eau pendant au moins une trentaine de secondes. Si le participant regarde ailleurs après ce délai, il devrait voir, dans la zone de sa vision où il avait fixé la chute, un mouvement qui va dans la direction opposée (Schwartz, Bennett Lowell et Krantz, 2019, p. 10). Puisqu'il avait fixé un mouvement allant de haut en bas, le mouvement rémanent devrait aller de bas en haut. Cette sensation est extrêmement étrange, car les objets glissent dans le sens inverse, mais ne se déplacent pas (Colman, 2015, p. 817; Zacks, 2014, p. 292). Ce mouvement « stationnaire » (qui peut être observé à la vidéo suivante : https://youtu.be/9k9UC1Ct9wc) [13] n'est pas limité aux chutes d'eau. Il peut aussi se manifester après avoir fixé un mouvement constant et unidirectionnel pour une période prolongée. Par exemple, l'effet peut se produire après avoir fixé le générique qui défile vers le bas à la fin d'un film (Schwartz, Bennett Lowell et Krantz, 2019, p. 10). Un MAE se produit également après avoir regardé une spirale qui tourne sur elle-même (voir fig. 3.4). C'est en étudiant les

Figure 3.4 : Spirale de Plateau

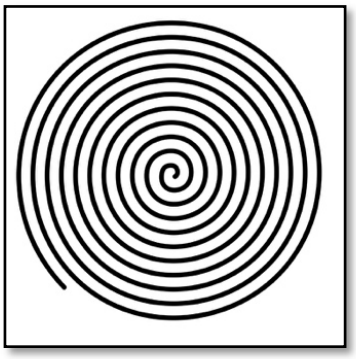


Image réalisée par l'auteur.

[12] Aristote et Lucrèce décrivent le phénomène après avoir regardé un point fixe dans une rivière aux eaux vives (N. J. Wade, 2018, p. 689).

[13] Le fait que l'effet que nous avons produit est relativement subtil et se dissipe rapidement démontre à quel point il est difficile de recréer ce type d'illusion. Il faut aussi noter qu'il faut regarder le mouvement continuel pour quelques minutes pour vraiment percevoir l'effet.

images rémanentes que Joseph Plateau découvre par accident cette forme de MAE (Robinson, 1998, p. 229; Wade et Swanston, 2013, p. 62).

Plateau construit la spirale qui porte son nom[14] et décrit le type de mouvement rémanent qu'elle produit ainsi :

> Maintenant, si, tandis que le disque tourne suivant le sens indiqué par la flèche, on le regarde, en tenant les yeux fixés sur son centre, pendant un instant suffisant, mais pas assez longtemps cependant pour que la vue soit blessée, et si ensuite on porte immédiatement les yeux sur un autre objet quelconque, sur le visage d'une personne, par exemple, on verra se manifester un effet singulier : la tête de la personne paraîtra pendant quelque temps aller en se rapetissant. Si l'on fait tourner le disque dans le sens inverse, l'effet résultant sera opposé : c'est-à-dire que la tête de la personne semblera aller en grossissant. (Plateau, 1850, p. 257)

Nous avons vu que la fatigue des photorécepteurs est l'explication traditionnelle des images rémanentes, mais qu'en est-il de ces sensations rémanentes étranges de mouvements sans déplacement ? Anstis *et al.* (1998) propose que les mouvements rémanents ne soient pas causés par une fatigue neuronale. Comme il a été décrit au chapitre précédent, les photorécepteurs de la rétine sont hyperspécialisés et un neurone à sélectivité directionnelle n'est sensible qu'au mouvement allant dans une seule direction (Barlow et Hill, 1963, p. 412). Par exemple, il peut être sensible à un mouvement allant de gauche à droite exclusivement, mais n'est pas activé si le mouvement va de droite à gauche, de haut en bas ou à la diagonale. De plus, au niveau cellulaire, la nature du stimulus n'est pas importante. Celle-ci peut être un point lumineux, un contour foncé, un camion ou une mouche ; tant que le mouvement va de gauche à droite, la cellule est activée (Masland, 2020, p. 78). Selon l'hypothèse de la fatigue, plus nous regardons un mouvement unidirectionnel, plus les photorécepteurs qui détectent cette direction s'épuisent. Conséquemment, lorsque nous fixons une chute d'eau, les récepteurs qui détectent le mouvement de haut en bas se fatiguent. Lorsque nous regardons ailleurs, la sensation de mouvement va dans le sens inverse, parce que les photorécepteurs sursaturés cessent de fonctionner (Gregory, 2015 [1997], p. 56) et doivent, comme un muscle endolori, « s'étirer » dans l'autre sens pour récupérer.

Bien que la fatigue semble jouer un rôle dans certaines sensations rémanentes, Anstis *et al.* (1998, p. 116) démontrent que certains neurotransmetteurs visuels ne se fatiguent pas. De plus, Masland découvre qu'un MAE peut survenir plusieurs heures et même plusieurs jours après qu'un participant ait été exposé à une spirale en mouvement Masland (1969). Puisque ce laps de temps aurait été amplement suffisant

[14] La spirale de Plateau est aussi connue sous le nom de spirale d'Archimède.

pour que les photorécepteurs puissent récupérer, Masland croit que les mouvements rémanents ne sont pas causés par la fatigue des photorécepteurs. Lorsque nous regardons une chute d'eau pour un certain laps de temps, le système s'habitue au fait qu'une zone particulière du champ visuel descend continuellement et apprend qu'il doit compenser vers le haut pour maintenir le point de fixation. Lorsque le stimulus est retiré, le mouvement inverse persiste, non pas à cause de la fatigue, mais parce que les mécanismes compensatoires continuent d'opérer. D'après Masland (2020), l'illusion de la chute d'eau provoque un mouvement rémanent sans déplacement, parce que le système continue de compenser vers le haut alors que le nouveau point de fixation est déjà immobile. La découverte que le mouvement rémanent causé par la spirale de Plateau continue de déformer une partie du champ visuel des heures après l'expérience est un signe que le système perceptuel sait s'adapter et apprendre même en traitant des informations de bas niveau. La perception et les réseaux neuronaux, décrits au chapitre précédent, ne sont donc pas fixes. Les réseaux font preuve de plasticité neuronale (Webster, 2015), ce qui permet à la perception de s'adapter à un stimulus et à une expérience sensorielle (Masland, 2020, p. 141; Mather *et al.*, 2008; Webster, 2015). La complémentarité des couleurs perçues dans une image rémanente de Purkinje pourrait aussi s'expliquer par l'adaptation du système visuel, ainsi qu'à une combinaison de facteurs de bas niveau, dont la stimulation d'un seul type de cônes et à la théorie des processus antagonistes décrites au chapitre 2 (Schwartz, Bennett Lowell et Krantz, 2019, p. 164-165; Wolfe *et al.*, 2019, p. 154-156).

La nature particulière des mouvements rémanents (chute d'eau et spirale de Plateau) démontre clairement qu'ils n'ont rien en commun avec l'aspect réaliste et fluide d'un mouvement cinématographique[15]. Si les phénomènes rémanents (images et mouvements) sont si particuliers, il convient de se demander pourquoi ils sont perçus et quelle est leur fonction. Selon Ulric Neisser, le père de la psychologie cognitive, les *after-effects* et, par extension, la persistance visuelle, sont des vestiges évolutifs qui ne semblent même pas jouer un rôle important dans la vision.

> Afterimages apparently have little to do with visual synthesis; at most, they are the dregs of single "snapshots." That is the reason why unlike perceived objects and genuine imagery, they move with every shift of the eyes. The afterimages apparently play no important role in vision; they are only the senile vestiges of once-useful processes. (Neisser, 2014 [1967], p. 138)

[15] Rappelons que les MAE sont étranges (mouvement sans déplacement), ils vont dans le sens inverse, ils prennent du temps avant d'être activés et leur effet est limité à la partie du champ visuel qui a été exposée au stimulus du mouvement initial.

Même si Neisser a raison et que les images rémanentes sont des vestiges évolutifs, qui sont inutiles sur le plan de la survie, il est possible néanmoins que la persistance visuelle produise des effets esthétiques. En plus d'expliquer la fusion d'images du thaumatrope, la persistance visuelle semble effectivement jouer un rôle modeste dans quelques effets associés à l'animation. Les traînées lumineuses demeurent l'effet artistique le plus commun qui est associé à la persistance visuelle. Avant de les décrire, il faut faire attention de ne pas confondre un effet esthétique qui est produit par une technologie particulière avec un effet artistique qui imite un phénomène perceptuel.

3.2.3 Les limites des métaphores visuelles

Figure 3.5 : Cheval blanc monté

Chronophotographie prise par Marey (1890-1891).

Bien que les chercheurs insistent sur le fait que la persistance visuelle ne produise pas de mouvement cinématographique, un bon nombre d'exemples visuels semblent contredire cette assertion. Par exemple, nous avons vu que Anderson et Anderson (1993, p. 4) utilisent *Nu descendant un escalier* (Duchamp, 1912) et *Pas de deux* pour illustrer le fait que les images rémanentes ne bougent pas (voir fig. 3.2), mais ces images semblent bouger. De surcroît, il est difficile de ne pas utiliser les chronophotographies de Jules-Étienne Marey comme preuve de la contribution de la persistance visuelle et du rôle de celle-ci dans la perception du mouvement (voir fig. 3.5 et fig. 3.6), car la technique capte les différentes phases d'un mouvement de la même façon qu'un animateur ou même une physiologiste auraient décortiqué un mouvement. Si nous assemblions ces images rémanentes, nous serions en mesure de produire un mouvement de la même façon qu'un animateur en crée un à partir d'intervalles ou d'images discrètes. Finalement, comme nous l'avons mentionné au dernier chapitre, il est tentant d'associer les symptômes d'alinopsie akinétopsique (voir figure 2.15) à ces descriptions d'images rémanentes. Même si les images rémanentes et la persistance visuelle ne jouent pas un rôle important dans la perception du mouvement, tous ces exemples semblent suggérer qu'elles ajoutent ou contribuent au mouvement d'une certaine façon.

Figure 3.6 : Man Walking

Image prise par Marey (1886).

Il est naturel de croire que ces images « semblent bouger », car, comme nous avons vu au dernier chapitre, le cerveau perçoit une forme de mouvement à partir d'images fixes (Kourtzi et Kanwisher, 2000, p. 52). Cependant, est-ce que cette impression est suffisante pour produire, contribuer ou même influencer la perception d'un mouvement dans un film ? En dépit de l'affinité extraordinaire qu'a la chronophotographie avec le cinéma d'animation, la réponse est négative pour un ensemble de raisons. D'abord, il est sage de rappeler le fait que la perception humaine n'opère pas comme une caméra et que les chercheurs n'ont pas les moyens de « voir » ce que le cerveau perçoit[16], car comme Gibson l'a remarqué, il n'y a pas d'image dans le cerveau (2015 [1979], p. 57). Donc, même si un chercheur compare un phénomène visuel à une œuvre d'art pour nous aider à le visualiser, cette œuvre ne sera qu'une approximation, une interprétation artistique d'un processus neurobiologique dont l'exactitude scientifique est difficile à tester. C'est bien sûr le cas du parallèle entre *Nu descendant un escalier* (1912) et la superposition d'images rémanentes positives (ainsi que la majorité des exemples visuels contenus dans cette thèse). Anderson et Anderson (1993, p. 4) imaginent que le tableau pourrait représenter le phénomène, mais il est impossible de le démontrer. Il faut aussi rappeler que les images rémanentes que nous percevons après avoir été aveuglés ne bougent pas. Dans ce sens, les chronophotographies pourraient, comme l'image prise de *Pas de deux* (fig. 3.2), illustrer la fusion statique d'images rémanentes. Il faut aussi préciser qu'à moins d'avoir de sérieux troubles neurologiques qui interfèrent avec le fonctionnement de la voie dorsale (voir chapitre 2), nous ne voyons pas ces intervalles normalement. Nous sommes tombés dans le piège mentionné plus tôt, car nous avons confondu un effet photographique pour un phénomène psychologique. En ce qui a trait aux troubles de la vision, Gersztenkorn et Lee précisent que malgré leur similarité, il ne faut pas les confondre avec les images rémanentes. La palinopsie est un terme général qui regroupe un ensemble d'illusions et d'hallucinations déstabilisant et débilitant, causée par des lésions, des pathologies corticales, des migraines ou la consommation de drogues[17] (Gersztenkorn et Lee, 2015, p. 4-8). En revanche, les sensations rémanentes sont un phénomène curieux, mais bénin, qui est causé par différents phénomènes physiologiques.

[16] Même si les chercheurs peuvent employer des techniques d'imagerie cérébrale, telle l'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle (IRMF ou *fMRI*, en anglais), celles-ci ne produisent pas des images de ce que le patient voit. De plus, l'IRMF ne montre même pas toutes les aires qui sont actives durant une tâche, car la technique ne révèle que le rapport entre le taux d'oxygénation et le taux de désoxygénation du sang dans les différentes aires cérébrales. Ceci est un portrait indirect de l'activité cérébrale et il faut comparer les aires actives durant une activité expérimentale avec l'activité cérébrale durant des conditions de contrôle. Finalement, puisque les machines utilisées dans ces expériences sont encombrantes et que le patient doit être immobile, les résultats ne tiennent pas compte des activités cérébrales nécessaires pour effectuer des activités dans un environnement dynamique (Passingham, 2016, pp. 4-9).

[17] Nous n'avons listé que quelques exemples des causes de la palinopsie. Gersztenkorn et Lee listent dix causes potentielles.

Donc, même si les chronophotographies et images de ce type révèlent les mécanismes biomécaniques du mouvement biologique et que cette dissection a une valeur scientifique et esthétique pour le physiologiste et l'animateur, les effets représentés résultent d'une réaction photochimique et non mentale. Les images fantomatiques ne sont que des empreintes ou des vestiges visuels d'un mouvement découpé et décomposé en tranches discrètes par la technologie. Elles représentent ainsi les traces du mouvement, plutôt que le mouvement lui-même. De plus, comme nous le verrons prochainement, un mouvement est une relation dynamique entre la position d'un objet se déplaçant à la fois dans le temps et dans l'espace, et ces images représentent un moment qui est figé dans le temps. Malgré le fait qu'il faut faire attention de ne pas confondre un phénomène visuel et un effet technologique, certains artistes ont réussi à créer consciemment et inconsciemment des facsimilés de vrais phénomènes perceptuels. Les traînées lumineuses ainsi que les stries, qui seront décrites au prochain chapitre, semblent être deux phénomènes artistiques qui émulent de vrais phénomènes perceptuels qui sont partiellement associés à la persistance visuelle.

3.2.4 Les traînées lumineuses

Après les images rémanentes, le phénomène perceptuel qui est le plus souvent associé à la persistance visuelle est probablement le fait qu'un objet lumineux, se déplaçant dans le noir, laisse derrière lui une traînée lumineuse[18]. En 1829, Joseph Plateau décrit l'effet dans sa thèse doctorale et l'utilise comme la preuve de l'existence d'une persistance visuelle. Il écrit :

> Tout le monde sait que si l'on agite rapidement et dans l'obscurité un charbon enflammé, on voit une courbe lumineuse et continue, comme si le charbon laissait dans l'air la trace de son passage. Ce fait prouve que les sensations produites en nous par la lumière ont une certaine durée, qu'elles subsistent encore quelque temps après la disparition des objets qui les ont fait naître (Newton, opt. liv. 1, part. 2, prop. 5.) (Plateau, 1829, p. 5)

[18] Bien que les deux phénomènes soient similaires, il ne faut pas confondre une traînée lumineuse avec une traînée visuelle. La première est produite par une source lumineuse, alors que la seconde est un phénomène optique produit par un mouvement rapide. Nous reviendrons aux traînées visuelles au chapitre 5, car elles s'apparentent à un phénomène réel, celui des stries, et sont associées à la compression et l'étirement (principe d'animation n° 1).

Les traînées lumineuses sont bien connues à l'époque de Plateau (da Vinci, 2008, p. 75; Newton, 2016 [1730], p. 347) et c'est même pour expliquer le phénomène que le Chevalier d'Arcy a mené l'expérience citée plus tôt (d'Arcy, 1765, p. 75; Lipton, 2021b, p. 43). Elles sont non seulement visibles à l'œil nu, elles peuvent également être captées et recréées de manière artificielle grâce à la technique du *light painting*[19] (voir figure 3.7)**.** Par conséquent, la traînée lumineuse est un vrai phénomène visuel et non un artefact produit par un procédé technologique. Plateau, Marey (1899, p. 23) et l'historien Georges Sadoul (1948, p. 9) pensent que les traînées lumineuses sont une forme de persistance visuelle, mais ont-ils raison ? Bien que nous n'ayons pas trouvé de réponse définitive dans les écrits, il est possible que la persistance visuelle joue un rôle dans la production de celles-ci, car, tout comme une image rémanente positive, elles apparaissent dans le noir après une exposition à une lumière intense. Dans ce sens, il est concevable que les traînées lumineuses soient tout simplement des images rémanentes en mouvement. Il ne faut cependant pas confondre l'empreinte du mouvement et le mouvement lui-même. Car, même si elle accentue l'effet cinétique du mouvement d'une manière éblouissante, la luminosité de la source marque le système visuel avec la trace de son passage de la même façon qu'un coup de bâton marque le sable. Les auteurs comme Marey auraient donc tort d'associer directement le phénomène au mouvement cinématographique (1899, p. 22-23), car ces traînées, comme les images fantomatiques de la chronophotographie, ne bougent pas. Pour comprendre pourquoi la théorie continue d'être citée comme la cause du mouvement animé en dépit des preuves accablantes du contraire, il faut remonter au travail de Joseph Plateau.

Figure 3.7 : Light painting

Image prise par l'auteur

3.3 Joseph Plateau : le prophète aveugle du cinéma d'animation

Comme certains pionniers du cinéma, dont Marey et Muybridge, Joseph Plateau a marqué à la fois les sciences et les arts. Il grandit dans un milieu artistique[20] et ses intérêts scientifiques se manifestent durant sa jeunesse. Ce double intérêt continue une fois à l'université de Liège où il obtient d'abord un diplôme en Arts en 1823, un diplôme en droit en 1824 et finalement un doctorat en sciences en 1829 (Wautier *et*

[19] Cette technique photographique consiste à bouger une lumière dans le noir alors qu'une caméra capte la scène. De longs temps d'exposition permettent à la lumière amovible d'exposer la pellicule (Lipton, 2021b, p. 43), tout en créant l'effet d'une peinture lumineuse en mouvement.

[20] Antoine Plateau, le père de Joseph, est un peintre décoratif et floral d'un certain renom. Tragiquement, Joseph perd ses deux parents à l'âge de 14 ans (Wautier *et al.*, 2012, p. 260).

al., 2012, p. 260-261). Sa thèse doctorale, comme nous l'avons mentionné, porte en partie sur les images rémanentes. Puisque le rôle de la cognition n'est pas connu à l'époque, Plateau croit que la capacité du système visuel à garder une impression est une faculté ou une propriété physiologique de la rétine, comme en témoigne le titre même de sa thèse, *Sur quelques propriétés des impressions produites par la lumière sur l'organe de la vue* (Plateau, 1829). En plus des observations faites sur la persistance des images rémanentes, cette thèse contient des découvertes fondamentales en sciences de la vision. Il décrit notamment les effets de la couleur sur la rétine et il est le premier à noter la durée d'une image rémanente à l'aide de mesures expérimentales claires (Wautier *et al.*, 2012, p. 264-265). Il faut cependant noter que Plateau est considéré comme un des grands scientifiques du XIXe siècle avant tout en raison de sa découverte de la tension superficielle, et non pour ses contributions en science de la perception (Wautier *et al.*, 2012, p. 276). Sa contribution au domaine du cinéma et de l'animation est aussi majeure, car il invente le phénakistiscope[21] en 1833 (Hannavy, 2013, p. 1133; Lipton, 2021b, p. 44-45; Wade, 2018a, p. 56). D'après Wautier *et al.* (2012), cette invention l'immortalise comme le père[22] du cinéma (p. 258). Étienne-Jules Marey rend hommage à Plateau et décrit son invention dans *La Chronophotographie* (1899) :

> L'idée de la synthèse du mouvement remonte au début de ce siècle. Il est vraisemblable qu'en l'élaborant c'est surtout au divertissement des enfants petits et grands qu'on a songé. Elle a été jetée dans la circulation par un jouet auquel son inventeur, Plateau, donna le nom de *phénakistiscope*.
>
> Des images disposées en cercle sur un disque de carton et correspondant aux phases successives d'un mouvement tournaient en faisant face à une glace. L'œil les voyait reflétées non pas toutes ensemble, mais successivement, à travers des fentes qui venaient se placer devant lui à mesure que tournaient les images. Leur succession et leur substitution en un même point de la glace donnaient l'illusion du mouvement dont elles figuraient des stades, des éléments partiels. (Marey, 1899, p. 22)

[21] Plateau décrit les disques du phénakistiscope dans un article publié en 1832, mais le nom « phénakistiscope », qui vient du grec pour « tromper » et « observer » (Antidote, 2022p) apparait seulement en 1833 (Wautier *et al*., 2012, p. 265). Selon Sadoul, Plateau voulait que l'instrument s'appelle le phantasmascope, mais « l'usage commercial fit prévaloir le terme très barbare phénakistiscope » (Sadoul, 1948, p, 19). L'instrument, tel que nommé par Plateau, est aussi nommé fantascope (Lipton, 2021, p. 45).

[22] L'attribution de la paternité du cinéma est une question délicate, car sa période de gestation est longue et s'étend sur tout le XIXe siècle. De plus, la réponse à la question : « qui a inventé le cinéma » n'est pas impartiale, car en plus du débat qu'elle occasionne en animation (voir chapitre 1), elle est notamment influencée par la nationalité de l'inventeur et par le patriotisme de l'historien. Chronologiquement parlant, si le cinéma vient au monde avec l'invention de l'appareil cinématographique par les frères Lumière en France et par Edison aux États-Unis et que ces derniers sont les pères du cinéma, nous proposons que Plateau en serait l'arrière-grand-père, Muybridge et Marey en seraient les grands-parents et Émile Reynaud, le parrain.

Comme nous l'avons décrit au chapitre 1, ce jouet philosophique est donc un cercle de carton sur lequel les intervalles d'une séquence animée simple sont dessinés (fig. 3.8). En tournant le disque devant un miroir et en regardant ces intervalles défiler à travers une série de fentes, l'observateur voit le dessin s'animer (fig. 1.6.6 et la vidéo suivante : https://youtu.be/jtsqt_sU2sQ). L'invention du phénakistiscope occupe une place majeure dans l'histoire du cinéma d'animation, car c'est le premier dispositif de son genre à afficher un mouvement animé. Puisque Plateau a réalisé les dessins qui étaient animés, certains auteurs le considèrent comme le premier animateur (Beckerman, 2003, p. 6).

Figure 3.8 : Phénakistiscope

Image réalisée par l'auteur.

Pour expliquer cette forme de mouvement apparent, Plateau se tourne naturellement vers les phénomènes visuels qu'il étudie depuis ses études universitaires : la persistance rétinienne et les images rémanentes. Dans un passage rapporté par Sadoul (1948, p. 17) et trouvé initialement dans Anderson et Anderson (1980, p. 78-79), Plateau explique le fonctionnement du phénakistiscope ainsi :

> Si plusieurs objets différant entre eux graduellement de forme et de position se montrent successivement devant l'œil pendant des intervalles très courts et suffisamment rapprochés, les impressions qu'ils produisent sur la rétine se lieront entre elles sans se confondre, et l'on croira voir un seul objet changeant graduellement de forme et de position. (Sadoul, 1948, p. 17)

Plateau formule également la loi qui porte son nom. Nous y reviendrons à la section 3.4.1, car elle est à la base du seuil critique de fusion du papillotement (ou *flicker fusion threshold*, en anglais) qui est nécessaire pour que la lumière d'un projecteur ou d'un écran ne semble pas fluctuer lorsque les images d'une vidéo ou d'un film sont projetées. Plateau est donc un scientifique sérieux de renom qui consacre une période charnière de sa carrière à étudier les images rémanentes et formule la théorie de tension superficielle. Tout ceci explique pourquoi, lorsque les inventeurs et savants intéressés par le cinéma tentent d'expliquer le mouvement cinématographique, ces derniers se tournent avec confiance vers l'explication fournie par Plateau.

Pour cimenter la place de Plateau comme le parangon des arts et de la science et puisque chaque mythe a besoin d'un héros, certains auteurs, dont Georges Sadoul, le dépeignent comme un martyre tragique,

un Prométhée moderne, qui sacrifie ses yeux dans sa quête du savoir et pour que le cinéma puisse voir le jour. Puisque Sadoul relate l'histoire de Plateau, tout en soulignant sa contribution inestimable, nous nous permettons de retranscrire ses mots verbatim :

> Dans une époque qui rêve d'un nouveau Prométhée, il est moins surprenant, l'acte de Joseph Plateau, ce jeune professeur belge, qui, un jour de l'été 1829, à Liège, fixe vingt-cinq secondes durant le disque éblouissant du soleil de midi et se trouve aveugle pour avoir voulu arracher un nouveau secret à la lumière et connaître la résistance limite de la rétine humaine.
>
> Pendant les journées qu'il dut passer dans une chambre obscure, Plateau ne vit longtemps rien d'autre que l'obsédante et déchirante image solaire, gravée à vif sur sa rétine (I). Puis la vue, lentement, lui revint. Il reprit aussitôt avec une ardeur imprudente ses travaux sur l'optique, et spécialement sur la persistance des images dans l'œil humain.
>
> Il sacrifia ses yeux à ses recherches. En 1842, il devenait définitivement aveugle. Mais, dix ans plus tôt, il avait eu le bonheur de découvrir un secret véritablement prométhéen : la formule qui permettait de recréer l'homme vivant dans la nature multiple. Plateau avait, en effet construit en 1832 un *phénakistiscope*, un petit appareil de laboratoire, un simple jouet, mais d'où allait sortir le cinéma moderne dont il posait déjà les principes. (Sadoul, 1948, p. 8)

Bien que cette version de l'histoire soit romancée, la chronologie et les faits sont exacts. Joseph Plateau, tout comme Sir Isaac Newton, décide de tester un phénomène perceptuel en s'utilisant comme cobaye (Verriest, 1990, p. 11). En 1829, alors qu'il travaille sur sa dissertation doctorale, Plateau, « poussé par une curiosité insensée », fixe le soleil pendant 25 secondes « afin d'observer les apparences subséquentes dans [s]es yeux » (Plateau, 1882, p. 242). L'expérience lui fait effectivement perdre temporairement la vue pendant plusieurs jours (Wautier *et al.*, 2012, p. 261-262). Plateau, qui devient éventuellement aveugle une quinzaine d'années ans plus tard, attribue sa cécité à l'expérience malheureuse menée 15 ans plus tôt (Plateau, 1882, p. 242; Verriest, 1990, p. 11). Les chercheurs du XIXe siècle sont fascinés par le sort ironique et tragique[23] de Plateau, un scientifique de la vision qui est aveuglé par ses recherches, de la même manière que Ludwig van Beethoven, un compositeur qui devient sourd, marque l'imaginaire de ses contemporains[24] (Verriest, 1990, p. 11). Cette histoire est reprise et romancée au XXe siècle dans les écrits anglais par Terry Ramsaye (1885-1954), un ancien journaliste, monteur, producteur et pseudohistorien du cinéma. Il écrit : « Through the very weeks in which he evolved the device which blazed the way to motion

[23] Bien que Plateau ait perdu la vue dans la quarantaine, il continue ses recherches scientifiques jusqu'à sa retraite à l'âge de 70 ans (Wautier *et al*., 2012, p. 275).

[24] Au XXIe siècle, Oliver Sacks, un neurologue et auteur s'intéressant aux phénomènes visuels (p. ex. *The Man Who Mistook His Wife for a Hat* [1987]), connaît un sort similaire. Dans un chapitre de *Sight Unseen* (2010), il relate comment il perd progressivement la vue après avoir été diagnostiqué avec une tumeur oculaire (voir chap. 2).

picture seeing [phénakistiscope] for the world's millions the light of his eyes was fading into the dark of utter blindness. He who would see so much paid the price of his sight » (Ramsaye, 1986 [1926], p. 13). Cette histoire continue de nous fasciner et l'expérience est malheureusement encore erronément citée comme la cause de sa cécité (Lipton, 2021a, p. 43), alors qu'une évaluation médicale des symptômes de Plateau indique que c'est une uvéite chronique, plutôt que le soleil, qui aurait provoqué sa cécité (Verriest, 1990, p. 11; Wautier *et al.*, 2012, p. 274-275).

Les découvertes scientifiques de Plateau, son invention du phénakistiscope et son sacrifice héroïque servent ainsi à cimenter la théorie de la persistance visuelle dans les écrits savants et l'imaginaire de l'époque. En fait, comme nous le verrons, cette combinaison est si convaincante que le mythe est épousé au XXe siècle par les artistes du nouvel art qu'est le cinéma, ainsi que par ceux qui cherchent à le légitimer dans les écrits francophones. Dans les écrits anglophones, par contre, c'est une mésinterprétation des observations de Peter Mark Roget par deux auteurs américains qui mène en partie à l'adoption de la théorie de la persistance rétinienne pour expliquer le mouvement au cinéma.

3.3.1 Le mythe de la persistance rétinienne au XXe siècle dans le monde anglo-saxon

Dans « The Myth of Persistence of Vision » (1978), Joseph Anderson et Barbara Anderson (née Fisher) attribuent l'origine du mythe dans les écrits anglophones à deux historiens du cinéma, Terry Ramsaye et Arthur Knight. En 1926, Ramsaye, écrivant sur les débuts du cinéma dans son livre *A Million and One Nights*, relate la découverte de la persistance rétinienne par le scientifique anglo-suisse Peter Mark Roget (1986 [1926], p. 10). Arthur Knight répète la même anecdote en 1959 (Knight, 1959, p. 14) et déclare que Roget est responsable de la découverte du principe sur lequel toute l'industrie du cinéma repose (Knight, 1959, p. 14). D'après l'histoire contée par Ramsaye (1986 [1926]), Peter Mark Roget (1779-1869), qui est un médecin et lexicographe britannique connu aujourd'hui pour son thesaurus, présente en 1824 un article intitulé « Persistence of Vision with Regard to Moving Objects » à la Royal Society. Dans cet article, il observe que le mouvement d'une roue de charrue est saccadé lorsque perçu à travers les lattes de stores vénitiens (Ramsaye, 1986 [1926], p. 10). De surcroît, Ramsaye ajoute que Roget aperçoit les différentes phases ou positions de la roue à travers les stores. « Through the slitted apertures the scientist caught the impression that the cart was proceeding by jerks. He saw it, despite its rapid motion, momentarily at rest in each slit, and, through each successive opening, he saw it in a different phase of motion » (p. 10). Cette description suggère que Roget a vu un mouvement réel converti en mouvement cinématographique. Les

stores ont ainsi réduit le mouvement de la charrue à une séquence d'images discrètes, de la même façon qu'une caméra segmente et capte chaque phase d'un mouvement sur une pellicule.

L'histoire contée par Ramsaye est problématique à plusieurs égards. D'abord, il est vrai que Roget présente un article à la Royal Society le 9 décembre 1824, mais l'article, qui est publié le 1er janvier 1825, ne s'intitule pas « Persistence of Vision with Regard to Moving Objects », mais plutôt : « Explanation of an optical deception in the appearance of the spokes of a wheel seen through vertical apertures » (Roget, 1825). De surcroît, l'article original de Roget décrit un phénomène différent de ce que nous pensons être le phénomène de la persistance rétinienne. En fait, Roget ne mentionne même pas le mouvement des rayons dans son article. Il observe plutôt que les rayons de la roue semblent se courber et être immobiles. Il écrit : « the spokes of the wheel, instead of appearing straight, as they would naturally do if no bars intervened, seem to have a considerable degree of curvature » (Roget, 1825, p. 131). Malgré le fait que Roget croit que l'illusion est causée par les images rémanentes, il tente d'expliquer la **courbe** des rayons et non le **mouvement** des rayons (1825, p. 135). De plus, il n'emploie même pas le terme « *persistance of vision* » pour décrire le phénomène. Selon Anderson et Fisher (1978, p. 4-7), tous ces indices indiquent qu'il est fort probable que Ramsaye et Knight n'aient jamais lu l'article de Roget[25], car les phénomènes de courbature et d'immobilité (illustrés à la fig. 3.9) ne ressemblent pas du tout à la théorie de la persistance rétinienne telle qu'elle est employée au cinéma. Veuillez aussi vous référer à la vidéo suivante, pour voir de ce que Roget aurait pu observer.

Figure 3.9 : La roue de Roget

Image dessinée par l'auteur à partir de Anderson et Fisher (1978, p. 5).

Même si Ramsaye est discrédité comme historien aujourd'hui (Prodger *et al.*, 2003, p. 18), le dommage qu'il a causé à notre compréhension du mouvement animé est fait, car l'histoire qu'il a ficelée à partir d'un texte qu'il n'a pas lu continue encore d'être citée comme étant l'origine et l'explication de la persistance visuelle (Boorstin, 2012, p. 740; Hergenhahn, 2008, p. 459; Mitenbuler, 2020). Même si le fait de faussement lier le mouvement cinématographique à la découverte scientifique de Roget aide à perpétuer

[25] Malgré la réputation douteuse de Ramsaye comme historien, il est possible que ce dernier avait une copie de « Persistence of Vision with Regard to Moving Objects ». Nous avons donc cherché l'article dans les archives en ligne de la Royal Society afin de nous assurer qu'il n'avait pas été découvert depuis la parution de l'article de Anderson et Anderson dans les années 1990. Notre recherche confirme que l'article cité par Knight et Ramsaye n'a jamais existé.

le mythe de la persistance visuelle dans les écrits anglophones (Anderson, J. D. et Anderson, 1980, p. 77-78; 1993, p. 4-5; Anderson, J. D. et Fisher, 1978, p. 4-6), il faut noter que l'article de Roget a inspiré ses pairs à poursuivre scientifiquement l'étude des images rémanentes. Michael Faraday (1791-1867) est un des chercheurs les plus éminents de l'époque à avoir été inspiré par les observations de Roget (Wade, 2005, p. 114). Il rapporte ses propres découvertes sur les images rémanentes dans « On a Peculiar Class of Optical Deception » en 1831 (Faraday, 1831, p. 205-207; Ramsaye, 1986 [1926], p. 10-13). Bien que Michael Faraday (1831, p. 211), comme Roget, ne mentionne pas le mouvement, la thèse doctorale de Joseph Plateau, l'invention du phénakistiscope par ce dernier ainsi que l'invention presque simultanée du stroboscope par l'Autrichien Simon Ritter von Stampfer (MacGowan, 1954, p. 4-5) semblent avoir été inspirées par le travail de Faraday qui s'est basé sur le travail de Roget (Plateau, 1829, p. 6; Schuler, 2016, p. 35; Wautier *et al.*, 2012, p. 265-266). Donc, même si Roget n'est pas à l'origine du mythe de la persistance visuelle au cinéma comme le voudraient Ramsaye et Knight, il est son catalyseur.

3.3.2 La persistance rétinienne en animation

En 1920, l'auteur et ancien caricaturiste Edwin George Lutz (1868-1951) publie *Animated Cartoons*: *How they are made, their Origin and Development* (1998 [1920]). Ce livre est le premier ouvrage consacré entièrement aux techniques d'animation et au métier (Crafton, 1993, p. 201). Comme ses contemporains, Lutz attribue la perception du mouvement animé à un ensemble de facteurs physiologiques et psychophysiques qu'il associe à la persistance rétinienne, à la mémoire et aux images rémanentes positives. Il écrit : « The phenomenon of this movement–this semblance of life–takes place, not on the screen, but within the eye » (Lutz, 1998 [1920], p. 4-5). Il décrit le phénakistiscope de Plateau, mais ne parle pas de sa contribution aux études des images rémanentes (p. 21). Son livre est lu avidement par un jeune Walt Disney qui désire apprendre à animer pour être en mesure de réaliser des courts métrages promotionnels semi-animés pour le Kansas City Film Ad Company (Barrier, 2007, p. 26; Crafton, 1993, p. 201). Bien que le livre soit relativement superficiel[26], il contient des conseils pleins de bon sens qui sont suivis par Disney et d'autres pionniers du médium (dont Hugh Harman), qui n'ont aucune autre source d'informations (Barrier, 2007, p. 33). Puisque *Animated Cartoons* de Lutz demeure pendant de nombreuses années le seul livre existant sur l'animation, et qu'il est utilisé par des figures importantes comme Walt Disney, il est probable que Lutz ait été le premier à diffuser la théorie de la persistance visuelle dans le domaine du cinéma d'animation aux États-Unis. Le rôle de Lutz est cependant mineur

[26] Cité par Barrier (2007), Disney décrit le livre comme suit : « Now, it was not very profound; it was just something the guy had put together to make a buck. But, still, there are ideas in there » (p. 26).

comparé à celui qui est joué par Disney. Ce dernier diffuse et cimente le lien entre le cinéma d'animation et la persistance visuelle au grand public dans *The Story of the Animated Drawing* (Disney, 1955), un documentaire de 49 minutes sur l'histoire du cinéma d'animation qui est diffusé dans le cadre de l'émission télévisée Disneyland. Disney, qui présente et assure la narration de l'émission, réussit à confondre toutes les faussetés qui viennent d'être décrites lorsqu'il dit :

> True animation awaited the recognition of a strange trait of the human eye. This is a principle known as the persistence of vision. Way back in 1824, a Frenchman by the name of Paul Roget demonstrated this with a simple toy called a thaumatrope. The name was derived from the Greek meaning "wheel of magic."[27]

Disney précise toutefois que le thaumatrope ne produit pas de mouvement. Donc, même s'il se trompe sur l'origine du mouvement animé, il a probablement raison d'associer la persistance visuelle au thaumatrope, comme nous l'avons proposé à la section 3.2.1.

Malgré les avancées de la perspective cognitive en études animées, la persistance visuelle est tenace et continue de hanter la discipline. Par exemple, Paul Wells, une sommité en études de l'animation, attribue la découverte du principe permettant le mouvement cinématographique à Mark Roget, comme l'a proposé à tort Terry Ramsaye. En 1998, Wells écrit dans *Understanding Animation* (republié en 2013) :

> Mark Roget wrote what was later to be called the 'Persistence of Vision' theory. This theory determined why human beings could perceive movement, i.e. that the human eye sees one image and carries with it an after-image onto the image that follows it, thus creating an apparent continuity (Wells, 1998, p. 12).

Cette erreur illustre un ensemble de phénomènes qu'il est pertinent de souligner. En premier lieu, elle témoigne de l'insularité des études en animation par rapport à la psychocinématique, car elle aurait pu être évitée si Wells avait été conscient des écrits de Joseph Anderson et Barbara Anderson (née Fisher) (1993; 1978), qui démystifient la théorie de la persistance visuelle et son association problématique avec Roget. En second lieu, elle démontre qu'il y a toujours un délai entre une nouvelle découverte en science et son intégration aux études cinématographiques. De surcroît, il se peut que le nouveau concept risque d'avoir été réfuté par la communauté scientifique durant cet intervalle. Finalement, comme il sera illustré au chapitre 4, la perception du mouvement est un phénomène extrêmement complexe que les chercheurs continuent d'étudier. Ces derniers commencent néanmoins à élucider peu à peu la perception du

[27] Ces informations incorrectes se trouvent également dans le livre *The Art of Walt Disney* (Finch, 1973, p. 29).

mouvement apparent. Il semble aussi que la plupart des universitaires s'intéressant au mouvement cinématographique savent que la persistance visuelle n'est pas la vraie explication du mouvement animé ou, du moins, qu'ils soupçonnent que la théorie n'est pas tout à fait juste. Malheureusement, faute d'avoir une nouvelle explication simple pour détrôner la persistance visuelle, les théoriciens du cinéma tentent de moderniser une théorie archaïque. En 1997, alors que l'approche cognitive a déjà commencé à faire des avancées en études cinématographiques, Ira Konigsberg capte parfaitement l'incertitude et l'ambivalence autour de la question du mouvement cinématographique dans *The Complete Film Dictionary* (1997). Après avoir fourni une description classique du phénomène, Konigsberg termine la définition de la persistance visuelle avec la déclaration suivante, au demeurant plutôt vague : « Although apparently a result of the optic nerves, the brain also is involved to some degree in the creation of persistence of vision; but there is still some vagueness concerning exactly how. *See* **phi phenomenon** for another theory concerning the illusion of movement created by motion pictures » (Konigsberg, 1997, p. 291). La définition du phénomène phi est encore plus révélatrice dans son ambiguïté.

> **phi phenomenon, phi effect** The illusion of movement created by the brain when the same object appears in different places and successive instances. Like persistence of vision, this phenomenon has been used to explain the illusion of movement created by motion pictures; but whereas the former is largely a physiological result of the optic nerves, the latter is a psychological result of the brain's operations. (p. 292)

La complexité du mouvement apparent pose un problème pédagogique, car l'enseignant et l'auteur doivent inévitablement expliquer cette illusion lorsqu'ils abordent l'animation. Puisqu'il demeure difficile de vulgariser un phénomène complexe et peu compris, certains auteurs utilisent la persistance visuelle comme terme général pour décrire l'illusion du mouvement animé. Par exemple, en parlant de la persistance visuelle, Beckerman évite de se perdre dans un sujet complexe. Il écrit : « Studies of perception refer to the movie illusion by various titles: apparent motion, stroboscopic motion, or the phi phenomena » (Beckerman, 2003, p. 6). Puisque cette thèse cherche à comprendre la nature scientifique du mouvement animé, il est impératif de différencier tous ces termes. Par exemple, l'effet phi sera décrit au prochain chapitre, car même s'il est un phénomène différent du mouvement cinématographique, il continue d'être confondu avec ce dernier (Lipton, 2021a, p. 52).

Dès le début de l'animation et du cinéma, la persistance visuelle, qui nous a été léguée par les recherches et inventions du XIXe siècle, a été adoptée par les animateurs qui cherchaient une théorie simple pouvant expliquer la raison d'être de leur art. Mais ce destin n'était pas inévitable. Il aurait potentiellement pu être

prévenu si les écrits de Münsterberg sur le cinéma n'avaient pas été oubliés après la mort subite du professeur allemand (voir chap. 1). Dans *The Photoplay* (2002 [1916]), Münsterberg propose que la théorie de la persistance visuelle (et rétinienne) soit une simplification excessive d'un processus mental complexe qui ne peut pas expliquer la perception du mouvement filmique. Il écrit :

> the apparent movement is in no way the mere result of an afterimage and that the impression of motion is surely more than the mere perception of successive phases of movement. The movement is in these cases not really seen from without, but is superadded, by the action of the mind, to motionless pictures. (p. 77)

Il cite à l'appui les recherches de psychologues germaniques[28] (p. ex. Exner, Korte et Wertheimer [p.76]) qui démontrent que la perception n'opère pas de manière discrète comme un zootrope ou un phénakistiscope (Münsterberg, 2002 [1915], p. 71-73). Comme nous le verrons au prochain chapitre, il souligne le fait que :

> the perception of movement is an independent experience which cannot be reduced to a simple seeing of a series of different positions. A characteristic content of consciousness must be added to such a series of visual impressions. The mere idea of succeeding phases of movement is not at all the original movement idea. (p. 73)

Malgré le fait que Münsterberg est, pour un moment, une célébrité et que ses écrits marquent le début de l'approche psychologique en études cinématographiques, son observation que la perception de mouvement est un acte cognitif qui n'a rien à voir avec les images latentes ne réussit pas à déloger la théorie de la persistance rétinienne dans les études cinématographiques.

3.4 Le problème de la projection et du papillotement

Au tournant du siècle dernier, alors que le cinéma est encore à ses débuts, la nature du mouvement filmique n'est pas une question qui semble préoccuper la communauté artistique, car, en toute vraisemblance, elle a déjà été réglée d'une façon fiable et élégante par Joseph Plateau et ses contemporains depuis environ un demi-siècle. De plus, d'un point de vue pratique et fonctionnel, il n'y a aucun aspect du mouvement filmique qui met en doute la validité de la théorie de la persistance visuelle. Parmi les cinq préalables scientifiques et techniques essentiels à la genèse du cinéma, la découverte du

[28] Il est probable que Münsterberg soit conscient de ces recherches, car il a été éduqué dans son pays natal et l'Allemagne est le berceau des sciences de la vision. De plus, il maintient des liens intimes avec l'Allemagne tout au long de sa carrière. Par exemple, il n'obtient jamais la citoyenneté américaine (Wagemans et autres, 2006, p. 35) et retourne en Allemagne avec sa famille à chaque deux ans (Spillmann et Spillmann, 1993, p. 330). L'habileté de lire ces articles en allemand est un atout considérable, car, comme nous le verrons dans la prochaine section, la majorité de ces textes qui sont des études majeures sont rarement traduits en anglais et lorsqu'ils le sont, des erreurs importantes s'y sont glissées.

mouvement apparent figure en premier et le développement d'un système de projection figure en second (Thompson, K. et Bordwell, 2010, p. 4). Il est toutefois curieux que Thompson et Bordwell ne fassent aucune mention de la qualité du mouvement apparent produit par les jouets philosophiques, les premiers appareils cinématographiques et les projecteurs du cinéma des premiers temps – une question qui n'a d'ailleurs pas été abordée jusqu'à présent dans cette thèse. Comment se fait-il qu'un aspect aussi fondamental du mouvement cinématographique ait été omis ? La réponse est simple : il n'a pas été question de la qualité des mouvements parce qu'ils sont relativement fluides et convaincants. Le fait de ne pas porter attention à une chose qui est présente ou qui remplit son rôle perceptif est associé à l'*omission neglect*. Ce phénomène cognitif curieux, que nous traduisons par « la négligence de ce qui est omis », décrit la tendance humaine de négliger les éléments absents lorsqu'il faut prendre une décision[29] (Konnikova, 2013, p. 95). Par conséquent, nous remarquons la présence d'un phénomène, mais ne notons pas son absence. Il aurait été pertinent de parler des premiers mouvements animés s'ils avaient été saccadés ou étranges, mais nous les tenons pour acquis puisqu'ils fonctionnent[30]. Nous croyons que l'*omission neglect* est en partie responsable de la ténacité de la théorie de la persistance visuelle, car les pionniers du cinéma auraient été forcés de revoir sa validité si les mouvements photographiques des premiers films en PVR avaient été inférieurs aux mouvements animés des jouets philosophiques. Mais cette remise en question ne fut pas nécessaire, car les premières itérations de mouvement cinématographique (animé et photographique) sont à la fois comparables et convaincantes dans leur réalisme. Se pourrait-il que les attentes perceptuelles du public au XIXe siècle aient été plus modestes que celles d'un public contemporain ? Bien que la technologie ait amélioré la qualité visuelle de l'image cinématographique, il suffit de regarder *Fantasmagorie* (Cohl, 1908), *L'Arroseur arrosé* (Lumière, 1895) ou l'animation d'un phénakistiscope, pour constater que même s'ils sont parfois un peu mécaniques ou rapides, [31] les mouvements fonctionnent si bien que leur fluidité passe inaperçue. C'est plutôt la fluctuation de la luminosité de l'image qui a tendance à attirer notre attention. Cet effet s'appelle le papillotement et il est causé, dans le cas du phénakistiscope, par l'apparition et la disparition intermittente de l'animation à travers les fentes du disque rotatif. En anglais, le papillotement porte le nom de *flicker* et

[29] Il faut faire attention de ne pas confondre l'*omission neglect* avec le phénomène de la « négligence visuelle » (appelé *visual neglect*, en anglais). En perception, la négligence visuelle désigne un trouble neurovisuel qui force une personne à négliger ou à ne plus porter attention à ce qui se trouve dans un de ses champs visuels. Généralement, une lésion pariétale dans l'hémisphère droit peut provoquer une négligence du champ visuel gauche (Wolfe *et al.*, 2019, p. 228).

[30] Il faut noter que la fluidité des premières animations – voire la fluidité de toute animation – dépend avant tout de l'habileté de l'animateur. Le fait que les animations des phénakistiscopes produites par Plateau soient convaincantes et belles témoigne de son talent en tant que figure potentielle du premier animateur (Beckerman, 2003, p 6).

[31] Quoique fluides, les mouvements semblent parfois être accélérés dans les premiers films. Nous verrons au prochain chapitre pourquoi c'est le cas.

il affecte à ce point le cinéma à ses débuts que *flick* devient le terme passe-partout pour désigner un film (Konigsberg, 1997, p. 150). Le *flicker* est extrêmement problématique, car, tout comme les spasmes lumineux d'un néon défectueux, la fluctuation lumineuse constante est irritante pour un spectateur au cinéma.

Comme nous l'avons mentionné plus tôt, l'expérience cinématographique est une illusion qui fonctionne, car elle exploite des particularités du système perceptuel pour fournir une expérience véridique. Mais, comme toute illusion, celle-ci peut être brisée lorsque l'artifice est révélé. Parmi toutes les astuces employées au cinéma, l'illusion la plus fondamentale et évidente est celle du mouvement apparent des images fixes. La deuxième illusion, plus subtile et plus insidieuse, est celle qui donne l'impression que la lumière ne fluctue pas. Par exemple, écrivant en 1926, Terry Ramsaye affirme que le papillotement est le dernier défi technique majeur que les pionniers du cinéma ont à régler[32] (1986 [1926], p. 351). Le problème occasionné par le papillotement représente toute la confusion autour de la question de la persistance visuelle au cinéma, parce que, même si les deux phénomènes sont distincts, il est difficile de les départager. Pour régler ce problème, les techniciens de l'époque se tournent encore une fois vers Plateau et la persistance visuelle. Mais cette fois-ci, Plateau à raison, car à la différence du mouvement cinématographique qui n'a rien à voir avec la fusion d'images rémanentes, le papillotement est réglé par un phénomène qui s'apparente à la persistance visuelle.

[32] D'après Ramsaye, le fait que la pellicule a tendance à sortir du projecteur lors de la projection est l'avant-dernier problème du cinéma. Albert E. Smith, un partenaire de J. Stuart Blackton, a réglé le problème (1986 [1926], p. 35).

3.4.1 L'obturateur et la loi de Talbot-Plateau

Comment éliminer le papillotement ? Puisque le papillotement du phénakistiscope de Plateau est causé par l'alternance entre les moments clairs (fentes) et les moments obscurs (disques), il serait logique de penser que le problème pourrait être résolu en éliminant tout simplement les fentes du disque. Mais ironiquement, sans les fentes du phénakistiscope, les images ne formeraient qu'un cercle flou (fig. 3.10). Cette fusion d'images est causée par l'intégration temporelle qui, comme il sera décrit au chapitre 5, crée des traînées et des stries cinétiques lorsque le mouvement est rapide. Mais, comme nous l'avons mentionné précédemment, les traînées lumineuses, ainsi que les stries, ne bougent pas. Pour être convaincu qu'une suite de dessins bouge, le système perceptuel a donc besoin qu'un dessin soit remplacé par un autre dessin. Ce sont donc les fentes qui permettent la perception du mouvement. Cette particularité du système visuel fait aussi en sorte que les projecteurs et les caméras doivent être munis d'un système qui est capable d'avancer une pellicule un photogramme à la fois en utilisant un obturateur (*shutter*) pour cacher la pellicule durant la transition d'une image à l'autre. Dans une caméra, l'obturateur permet de filmer une séquence en exposant chaque instant du mouvement sur un photogramme stable. Dans un projecteur, l'obturateur permet de cacher l'image projetée durant la fraction de seconde nécessaire, pour que le mécanisme de l'appareil passe d'un photogramme à l'image suivante[33]. Sans ce répit, nous verrions une traînée floue, qui résulte de la fusion du contenu de chaque photogramme de la pellicule qui passe rapidement devant la lumière (Thompson, K. et Bordwell, 2010, p. 5). L'obturateur est tellement nécessaire à l'illusion cinématographique que Bordwell et Thompson l'identifient comme étant la cinquième et dernière découverte nécessaire à la genèse du cinéma. D'après ces derniers, ce sont les avancées technologiques du XIXe siècle, dont l'invention de la machine à coudre en 1846, qui aident les techniciens et inventeurs à développer les mécanismes intermittents permettant à la pellicule d'arrêter et d'avancer rapidement (p. 5).

Figure 3.10 : Le rôle de l'obturateur

Image prise par l'auteur.

[33] La similarité entre les caméras et les projeteurs explique pourquoi le Cinématographe commercialisé en 1897 par les frères Lumière (Mannoni, 2017, p. 69) peut servir à la fois de projecteur et de caméra (Barnes et Mannoni, 1998, p. 5; Lutz, 1998 [1920], p. 47).

Retirer l'obturateur des caméras, des projecteurs et des jouets philosophiques n'est donc pas la solution pour régler le problème du papillotement, car le mouvement est créé dans ces moments de noirceur. Rappelons la citation de McLaren qui, en décrivant l'animation, précise que le mouvement animé est formé durant et par les interstices invisibles qui sont situés entre les intervalles (Hoffer, 1981, p. 5). Bien que cette définition soit devenue un mantra semi-mystique au fil des années, elle capte néanmoins l'essence et le paradoxe de l'animation : la stase du néant est le moteur du mouvement, car c'est quand l'image cesse d'exister que le mouvement animé est créé. Dans « In Order to See, You Must Look Away: Thinking About the Eye » (2017), William Brown arrive à la même conclusion et, citant Mary Ann Doane, estime qu'il ne faut pas sous-estimer la durée de ces moments obscurs, car ils correspondent à près de 40 % de la durée d'un film (Brown, W., 2018, p. 22; Doane, 2002, p. 172). Nous remettons cette valeur en doute, car, d'après les calculs qui seront présentés au prochain chapitre, un obturateur semble bloquer complètement la lumière la moitié du temps[34]. Si nous avons raison, un spectateur ne serait pas dans le noir 40 % du temps, mais plutôt 50 % du temps. Brown souligne aussi que la vision cesse quand nos yeux bougent et lorsque nous clignons des yeux[35]. Nous reviendrons au fait remarquable que nous ne percevons pas ces moments de cécité au chapitre 7.

Plateau, qui a inventé le phénakistiscope, est conscient de l'importance essentielle de l'obturateur dans la production du mouvement animé. En 1835, il explique le fait qu'en tournant un disque blanc qui a une marque noire, nous verrons du gris, car les deux teintes se mélangent (Plateau, 1835, p. 53-54). Il précise que plus la tranche noire est large, plus le gris est foncé. À l'inverse, plus la tranche de noir est étroite, plus le gris sera clair. Dans ce sens, le « degré d'obscurité est proportionnel à la largeur angulaire du secteur noir » (Plateau, 1835, p. 54). Il propose également que « l'éclat apparent » d'une source lumineuse ait diminué si nous la regardons à travers une sorte d'obturateur (Plateau, 1835, p. 54). Ces observations mènent Plateau à formuler la loi de Talbot-Plateau. Elle est ainsi nommée, car Plateau et le photographe, physicien et psychologue William Henry Fox Talbot (1800-1877) formulent la loi plus ou moins en même temps (Colman, 2015, p. 753; Plateau, 1835; Talbot, 1834). Plateau explique la loi ainsi :

> *Lorsqu'un objet lumineux agit sur l'œil d'une manière régulièrement intermittente, et que ses apparitions successives sont assez rapprochées pour que l'œil ne puisse plus les distinguer, et perçoive une sensation continue, l'éclat apparent de cet objet se trouve diminué par le rapport*

[34] Il est question naturellement de projection cinématographique et non de format numérique.

[35] Bien que notre regard se promène constamment à travers le champ visuel (saccades), nous avons l'impression que notre regard est fixe. Le fait que le système perceptuel dissimule les mouvements oculaires des saccades s'appelle la « suppression saccadique » (*saccadic suppression*).

> *de la somme des durées d'une apparition et d'une disparition, à la durée d'une apparition seule.* (Plateau, 1835, p. 53, italiques préservés)

À première vue, il est difficile de voir comment cette loi peut nous aider à résoudre le problème du papillotement au cinéma, car elle semble proposer une formule mathématique pour calculer la baisse de luminosité causée par un obturateur. La solution, par contre, est cachée dans la première partie de la phrase. En expliquant qu'une source lumineuse peut produire une sensation continue lorsque les éclats de lumière sont suffisamment proches les uns des autres, Plateau énonce le seuil de fusion du papillotement, qui est le principe perceptuel qui permet l'élimination de la fluctuation lumineuse. Par contre, puisque l'article porte sur la diminution de lumière plutôt que sur la fusion de celle-ci, la clé du mystère aurait pu être enfouie et oubliée dans les Bulletins de l'Académie Royale des Sciences et Belles-Lettres de Bruxelles. D'après Nichols et Lederman (1980, p. 79), c'est Charles Scott Sherrington, un éminent neurophysiologiste anglais[36], qui associe le papillotement à la loi de Plateau-Talbot et, ce faisant, mélange et diffuse dans la communauté scientifique un ensemble de notions qui seront jusqu'à récemment associées à tort au mouvement cinématographique. Ces notions sont : la fusion de la lumière, le papillotement, et le principe de la fusion des images rétiniennes (p. 79). Pour clarifier la théorie de Plateau, les définitions contemporaines séparent parfois les deux moitiés de la loi. Celles-ci sont : 1) la fusion de la lumière et 2) la luminosité de la lumière (VandenBos, 2015, p. 84437-84442). Bien que ces deux éléments de la loi soient essentiels à la projection d'un film[37], c'est la fusion de la lumière qui nous intéresse, car elle est associée à tort avec le mouvement cinématographique.

3.4.2 Le seuil de fusion du papillotement

Tel que discuté au chapitre 2, la lumière est une onde qui a une longueur mesurée en nanomètres. Elle se déplace à une fréquence mesurée en hertz (Hz) (Colman, 2015, p. 295). Puisque la fréquence décrit un nombre d'événements par seconde, le hertz peut aussi être utilisé pour indiquer combien d'images un projecteur ou un écran d'ordinateur affichent par seconde. Quand la fréquence de projection est basse, l'image papillote, parce que nous voyons la fluctuation causée par la succession des éclats de lumière qui s'allument et qui s'éteignent. Généralement, nous ne percevons pas ce phénomène dérangeant lorsque nous regardons nos écrans, car le papillotement diminue lorsque la fréquence augmente. Donc, plus la

[36] Charles Scott Sherrington (1857-1952) a nommé la synapse et a remporté le prix Nobel pour ses découvertes innovantes sur les neurones (Wolfe, Kluender, Levi *et al.*, 2019, p. 23).

[37] La luminosité d'un projecteur doit être ajustée en fonction du nombre d'obturateurs employés, car ces derniers ont tendance à couper la lumière. Donc, plus il y a d'obturateurs, plus la lumière doit être forte (Anderson, 1998, p. 57). Une autre explication du papillotement des premiers films réside dans le fait que les plus vieux systèmes de projection utilisaient des lampes à arc dont la luminosité variait considérablement (Swaby, 2015, p. 209).

fréquence est élevée, plus les éclats de lumière se succèdent rapidement. À partir d'une certaine fréquence, la lumière cesse éventuellement de fluctuer et semble former un faisceau continu.

Les psychologues mesurent ces phénomènes en termes de seuils, car il faut toujours un certain degré de stimulation avant que nous puissions détecter une sensation (p. ex. le volume d'un bruit, la pression d'un objet sur la peau, la luminosité d'une flamme, etc.). Chaque type de sensations a donc un seuil absolu qui représente la « [p]lus faible stimulation sensorielle détectable une fois sur deux » (Wood *et al.*, 2009b, p. 83). Le seuil de fusion du papillotement n'est pas d'une valeur fixe, car il varie selon de multiples facteurs, dont la sensibilité de l'individu, l'intensité des phases claires et sombres de la lumière, la distance de l'observateur, ainsi que la taille, la luminosité et la nature du stimulus[38] (Brown, A. *et al.*, 2018; Zacks, 2014, p. 158-159). D'après Konigsberg (1997, p. 79), la lumière d'un projecteur cinématographique commence à fusionner à 16 Hz (1997, p. 79), mais cette fréquence n'est pas pratique pour le cinéma, car elle produit trop de papillotement pour produire une expérience visuelle agréable. Quelle est donc la fréquence optimale de projection pour que toute trace de papillotement soit éliminée ? Cette fréquence s'appelle le seuil critique de fusion du papillotement, ou *critical flicker fusion frequency*, en anglais. Puisque le seuil critique de fusion du papillotement se situe entre 55 et 60 Hz chez l'être humain (Woo et Rieucau, 2011, p. 1678), les standards de projection ou d'affichage sont de 72 Hz au cinéma[39] et de 60 Hz pour la télévision (Davis *et al.*, 2015, p. 1). Ces valeurs (48, 60 et 72) ne sont pas aléatoires. Elles dépendent de la cadence du film et le la fréquence de projection. L'effet de la fréquence sur le papillotement est illustré à la vidéo suivante : https://youtu.be/ObuQLCynRM0.

3.4.3 Cadence et fréquence

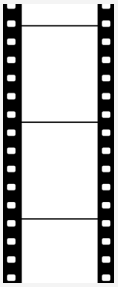
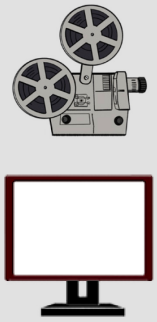
La cadence d'un film est parfois définie comme étant « le nombre de photogrammes qui passent devant la lentille d'une caméra ou d'un projecteur par seconde ou d'images, sur la pellicule par seconde » (Konigsberg, 1997, p. 157). Par contre, cette définition est quelque peu trompeuse, car la cadence d'un film et la fréquence d'une projection sont deux termes similaires, mais qui se réfèrent à deux aspects cinématographiques distincts. Pour mieux comprendre les particularités de l'animation, il est

[38] Brown, A. *et al.* (2018) citent des études montrant que la fusion chromatique du rouge et du vert fusionne à des fréquences plus basses (entre 10 et 15 Hz), alors que le seuil de fusion achromatique est plus élevé (entre 35 et 60 Hz). D'après Derrington *et al.* (1984) et Derrington et Lennie (1984), ces différences sont causées par le fait que la voie parvocellulaire sensible au rouge/vert est plus lente que la voie magnocellulaire qui est rapide et achromatique.

[39] Pendant quelques années, 48 Hz est le standard de projection au cinéma, mais cette fréquence peut parfois causer du papillotement. La fréquence est donc augmentée à 72 Hz.

important de faire la distinction entre la **cadence d'un film** et **la fréquence de projection**. Comme nous venons de voir, la fréquence désigne le nombre d'images qui sont affichées ou projetées par un écran ou un projecteur en une seconde. Elle se mesure en hertz (Hz). La cadence d'un film est le nombre d'images ou de photogrammes qui sont utilisés pour représenter une seconde de mouvement à l'écran. Elle se mesure en images par seconde (i/s). La cadence standard est de 24 i/s pour un film traditionnel et est de 30 i/s pour un format vidéo américain. Le tableau 3.1 illustre et décrit les différences entre la cadence et la fréquence.

Tableau 3.1 : Cadence et fréquence

	Définition et caractéristiques	Unité
Cadence 	• Nombre de photogrammes employés pour représenter une seconde de mouvement • La cadence est déterminée par notre capacité de voir du mouvement apparent fluide et d'entendre du son. • Les films muets emploient une cadence de 16 i/s, mais celle-ci peut varier. • Avec l'arrivée du son, 24 i/s devient le standard de l'industrie, car cette valeur est un compromis entre le coût de la pellicule, la qualité du son et la qualité du mouvement (voir chap. 5).	Images par seconde (i/s)
Fréquence 	• Nombre d'images affichées par seconde par un projecteur ou un écran • Valeur déterminée pour éliminer le papillotement de l'image • La fréquence optimale est de 60 Hz et +[40]. • Le nombre de lames sur l'obturateur détermine le nombre de fois que le même photogramme peut être projeté.	Hertz (Hz)

Les premiers obturateurs n'avaient qu'une seule lame ou un seul trou. Lorsqu'un film est projeté avec ce système, chaque photogramme de la pellicule est projeté une seule fois à l'écran. C'est-à-dire que le projecteur projette un photogramme, l'obturateur bloque la lumière et le mécanisme du projeteur passe au photogramme suivant. Lorsqu'un projecteur opère avec un obturateur à une seule lame, la cadence du film (24 i/s) correspond à la fréquence de projection (24 Hz), parce que chaque image sur la pellicule est projetée une fois à l'écran. Ce système, par contre, n'est pas optimal, car la fréquence de 24 Hz est trop basse pour garantir une fusion complète du papillotement (Anderson, J. D., 1998, p. 56). Thomas Edison, cité par Richardson en 1925, rapporte que ses premiers films, produits entre 1895 et 1896, étaient tournés entre 40 i/s et 50 i/s (Richardson, 1967 [1925], p. 24) pour minimiser le papillotement (Anderson, J. D.,

[40] La fréquence de tout matériel numérique est déterminée par la fréquence de l'écran.

1998, p. 55). Par contre, puisque le kinétoscope de Edison ne pouvait que projeter les films à la moitié de la vitesse, « toutes les scènes avaient un effet de ralenti » (Armat, 1967, p. 18).

Les techniciens au début du cinéma ont vite compris qu'ils pouvaient réduire le papillotement en ajoutant un deuxième trou ou une deuxième lame à l'obturateur[41] pour que chaque photogramme de la pellicule soit projeté deux fois à l'écran[42]. Comme chacune des 24 images est affichée deux fois à l'écran, nous obtenons une fréquence de projection de 48 Hz[43]. Le système à deux lames peut causer néanmoins du papillotement chez certains et selon les conditions, car 48 Hz est inférieur au seuil de fusion optimal qui se situe entre 55 et 60 Hz (Woo et Rieucau, 2011, p. 1678). Les techniciens ont donc ajouté une troisième lame à l'obturateur pour que chacun des 24 photogrammes soit affiché trois fois à l'écran par seconde. En atteignant une fréquence de 72 Hz[44], le seuil est dépassé et le papillotement disparaît (Zacks, 2014, p. 159). Les fréquences des écrans d'ordinateur suivent la même logique. En vidéo, la cadence est de 30 i/s. Si chacune de ces images est affichée deux fois à l'écran[45], une fréquence de 60 Hz est atteinte, ce qui est aussi suffisant pour éliminer le papillotement[46] (Sekuler et Blake, 2006, p. 331). Le tableau récapitulatif 3.2 illustre et décrit les caractéristiques principales des trois sortes d'obturateurs.

[41] L'ajout d'une ou deux lames supplémentaires s'est fait relativement rapidement, car C. Jenkins décrit cette astuce dans « History of the Motion Picture », un article publié en 1920 (1967 [1920] p. 5).

[42] D'après une anecdote contée par Ramsaye (1926 [1986]), Albert E. Smith a eu l'idée d'ajouter une deuxième lame au début du XXe siècle, en 1900 (p. 35). Évidemment, il est important de prendre cette information avec un grain de sel, car comme nous l'avons vu, Ramsaye n'est pas un historien fiable.

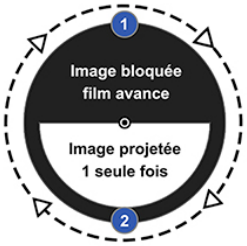
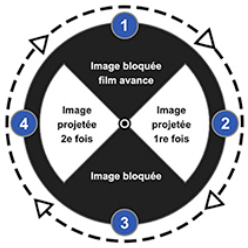
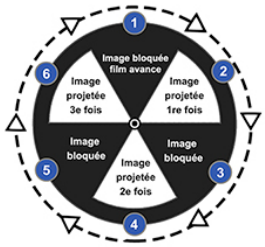
[43] 24 i/s x 2 = 48 Hz

[44] 24 i/s x 3 = 72 Hz

[45] Les systèmes numériques n'emploient pas d'obturateur pour afficher les images. Ils emploient plutôt diverses astuces pour changer les images et éliminer le papillotement. Une de ces techniques est l'entrelacement où deux images divisées en tiers se chevauchent (voir chap. 5) (Passek, 2001, p. 1322).

[46] L'écran de l'ordinateur, sur lequel cette thèse est rédigée (iMac), a une fréquence de 60 Hz. L'écran affiche ainsi 60 images par seconde.

Tableau 3.2 : Obturateur et fréquence

Obturateur	Image	Cadence	Fréquence	Description
Une lame		24 i/s	24 Hz	Une rotation de l'obturateur prend 1/24 s et affiche un seul photogramme **une seule fois à l'écran**. Il y a du papillotement, car 24 Hz est en dessous du seuil de fusion du papillotement qui est de 55 Hz et + (Woo et Rieucau, 2011, p. 1678).
Deux lames		24 i/s	48 Hz	En 1/24 s, un photogramme est affiché **deux fois à l'écran**. Il y a encore du papillotement, car 48 Hz est en dessous du seuil de fusion du papillotement.
Trois lames		24 i/s	72 Hz	En 1/24 s, chaque photogramme est affiché **trois fois à l'écran**. Il n'y a plus du papillotement, car 72 Hz est supérieur au seuil de fusion du papillotement (55 Hz et +).

La forme des obturateurs est basée sur les images employées par (Hammack et Kranz, 2015) dans une vidéo expliquant le fonctionnement d'un projecteur.

Avant de passer à la prochaine section, il est pertinent de revenir à l'*omission neglect*, mentionné au début de cette section. À la fin de son article faisant le survol historique des expériences sur la fusion et la persistance visuelle au cinéma, Yves Galifret (2006) remarque qu'il ne faudrait pas parler d'une fusion de la lumière quand il est question de papillotement, car le seuil de fusion du papillotement ne résulte pas d'une habileté du système perceptuel de combiner la lumière, mais résulte plutôt d'une incapacité du système perceptuel à détecter les variances de la lumière à partir d'une certaine fréquence. Galifret écrit :

> If, when watching a movie, we do not perceive the 48 or 72 intermittencies, it is not because of a providential 'retinal memory' filling in the gaps but, more simply, because the time constants of our brightness system do not allow it to 'follow' such frequencies. (Galifret, 2006, p. 384)

La différence est subtile, mais importante. La notion de la fusion implique un acte actif, une habileté qu'a le système perceptuel de coller les éclats de la lumière ensemble pour créer quelque chose de beau et

d'uniforme. Mais en réalité, la fusion est une défaillance. Galifret observe que : « the perceived steadiness of a light flickering at 100 Hz is not, strictly speaking, the effect of a fusion but the absence of perception of the oscillations of brightness » (Galifret, p. 383). Voilà pourquoi Schwartz (2017) compare le seuil de fusion du papillotement à la limite de notre acuité temporelle (p. 185-186). Une lumière papillote à 60 Hz, mais au-delà de cette fréquence, le système n'a plus l'acuité ou la capacité de percevoir ces fluctuations (Sekuler et Blake, 2006, p. 331). Les animaux ayant plus de cônes, comme les mammifères, les reptiles, les poissons et les oiseaux, sont beaucoup plus sensibles au mouvement et ont un seuil de fusion du papillotement plus élevé que les espèces ayant plus de bâtonnets, car les cônes se remettent quatre fois plus rapidement d'une sursaturation lumineuse (Lisney *et al.*, 2011, p. 1325; Purves *et al.*, 2019, p. 51). Dans ce sens, un étourneau cinéphile, dont le seuil dépasse 100 Hz (Maddocks *et al.*, 2001, p. 315; Woo et Rieucau, 2011, p. 1678), se plaindrait au projectionniste, car son expérience serait gâchée par le fait qu'il serait encore en mesure de percevoir le papillotement d'un film projeté à 72 Hz[47]. L'*omission neglect* peut expliquer pourquoi les chercheurs évitent de reconnaître les limites du système perceptuel quand il est question de la fusion de la lumière, car le système perceptif met l'accent sur la présence d'un phénomène (c'est-à-dire la fusion active de la lumière), au lieu de réaliser que le percept résulte d'une absence. Le même principe s'applique à la perception du mouvement, qui, comme nous verrons au prochain chapitre, est encore plus trompeur que la luminosité. Avant de clore ce chapitre, il est important d'insister sur le fait que, même si les deux concepts sont interconnectés, la fusion de la lumière n'est pas associée ou responsable du mouvement au cinéma. Nichols et Lederman différencient les deux phénomènes parfaitement dans la citation suivante :

> The result of the eye's summing successive image-frames over time is fusion, the elimination of flicker, but not necessarily any impression of movement. […] It creates the impression of a solid, stable world of successive images but does not yield the impression of movement. (Nichols et Lederman, 1980, p. 99)

3.5 La persistance des images rémanentes

La théorie de la persistance visuelle est fondée à la fois sur un phénomène visuel réel, celui des images rémanentes et sur l'impression que les sensations résonnent et persistent dans le système perceptuel en préservant leur forme originale. Cette persistance peut se manifester par les traînées lumineuses créées par un objet en mouvement, mais les sensations rémanentes sont des phénomènes particuliers que

[47] Nous reviendrons au fait que chaque créature voit le monde différemment au chapitre 7, car il existe un rapport intime entre notre environnement, notre système perceptuel et les formes artistiques que nous avons créées.

Neisser associe à un système de vision archaïque. Bien que le phénomène soit connu et décrit depuis l'Antiquité, il commence à s'ancrer dans la conscience populaire au XIXe siècle pour expliquer le mouvement produit par de nouveaux jouets optiques capables d'afficher des dessins animés. Même si la persistance visuelle produit des images rémanentes qui ne bougent pas, l'association est néanmoins compréhensible, car, pour les savants de l'époque et pour la conception subjective du profane, la perception opère comme une caméra passive captant des images restant sur la rétine. Bien que la perception ne fonctionne pas de manière mécanique, l'idée qu'un mouvement est produit par la fusion d'images rémanentes est confirmée par notre impression subjective et par certains phénomènes, telles les traînées visuelles. Il est aussi possible que les chronophotographies de Marey renforcent la théorie, car pour la première fois dans l'histoire de l'humanité, des instruments et techniques photographiques novatrices sont capables de révéler la vraie nature de phénomènes naturels.

L'adoption de la théorie est facilitée par le fait qu'un de ses tenants est Joseph Plateau, un scientifique de renom qui a perdu la vue pour révéler les mystères du mouvement cinématographique. Lorsque le cinéma baisse le rideau sur l'âge des illusions à la fin du XIXe siècle et proclame l'arrivée d'une nouvelle ère, l'idée de la persistance visuelle est perpétuée par une nouvelle génération de visionnaires, car la théorie, qui est déjà bien établie, est une explication passe-partout expliquant d'un seul coup la fluctuation de la lumière et le mouvement cinématographique. Mais, pendant que les cinématographes résolvent le problème du papillotement, les pionniers des sciences de la vision, qui ne sont pas convaincus par l'explication traditionnelle de la théorie de la persistance visuelle, commencent à dévoiler la vraie nature du mouvement réel et cinématographique.

CHAPITRE 4

La science du mouvement animé

> « Mais si le mouvement engendre le mouvement, comment le déplacement peut-il naître de l'immobilité ? » (Rocher, 1986)[1].

Alors que les pionniers du cinéma adoptent le mythe de la persistance visuelle pour expliquer la magie de leur art, les pionniers des sciences de la vision rejettent la théorie dès le XIXe siècle et cherchent à dévoiler la vraie nature de la perception du mouvement réel et cinématographique au XXe siècle. Nous verrons que cette quête continue au XXIe siècle, car les chercheurs tentent encore d'élucider comment un mouvement est perçu. De surcroît, il sera démontré qu'une interprétation erronée des premières recherches scientifiques sur le mouvement apparent a contribué à la confusion qui persiste jusqu'à ce jour à la fois au cinéma et dans les écrits savants.

4.1 Exner, la mémoire et le mouvement apparent

Sigmund Exner (1846-1926) est un physiologiste viennois et est un des scientifiques les plus importants de son époque[2] (Verstraten *et al.*, 2015, p. 2). Alors qu'il est professeur adjoint à l'Institut de Physiologie de Vienne de 1872 à 1875, il mène une série d'expériences sur le mouvement apparent (Schuler, 2016, p. 89). Il dispose de plusieurs instruments ayant appartenu à Hermann Helmholtz, un ancien collaborateur et le père de la perspective indirecte (voir chap. 2). Un de ces appareils est capable de produire au moins deux étincelles électriques distinctes. Il est possible d'ajuster la distance entre les étincelles et de déterminer l'intervalle de temps entre leur apparition (Schuler, 2016, p. 87-89; Wolfe *et al.*, 2019, p. 249)[3]. Dans le

[1] Cette phrase est prononcée par le narrateur d'*Un point c'est tout* (Rocher, 1986). Ce court-métrage animé est un poème visuel qui rend hommage à l'art de la perspective visuelle. Le spectateur apprend à la fin du film que le narrateur est nul autre que Filippo Brunelleschi, qui, avec Leon Battista Alberti (Mather, 2014, p. 51), est le co-inventeur de la perspective linéaire (Kemp, 2006; Manetti, 1985, p. 68-70).

[2] Les champs d'intérêt et les contributions scientifiques d'Exner sont divers. Par exemple, après avoir étudié des cas d'agraphie (incapacité d'écrire), il propose en 1881 l'existence d'un centre cérébral responsable de l'écriture. Ce centre éponyme s'appelle l'aire d'Exner (*Exner's area*) (Exner, 1881; Roux, Draper, Köpke *et al.*, 2010, pp. 1204-1205).

[3] Pour une description détaillée des méthodes et des instruments employés par Exner et par d'autres chercheurs en sciences visuelles, veuillez consulter : *Seeing Motion: A History of Visual Perception in Art and Science* (Schuler, 2016). Le livre est une source d'informations précieuses, car l'auteure recense les ouvrages des pionniers de la vision rédigés pour la plupart en allemand et rarement traduits en anglais ou en français. Comme il sera démontré à la section 4.2.1, le fait que les chercheurs anglophones n'aient pu consulter ces sources explique en partie la confusion entourant certains concepts fondamentaux associés à l'étude du mouvement apparent.

dernier de quatre traités publiés durant cette période, Exner (1875a)[4] décrit une série de phénomènes visuels qui sont fondamentaux à la perception du mouvement réel et du mouvement cinématographique. En espaçant deux étincelles qui s'allument et s'éteignent l'une après l'autre, Exner, cité par Schuler (2016, p. 90) observe que la lumière semble se déplacer d'une étincelle à une autre (Exner, 1875a, p. 407-408). Puisque ce type de mouvement est une illusion (l'étincelle ne se déplace pas vraiment), ce déplacement porte maintenant le nom de mouvement apparent (*apparent motion*, en anglais). Traditionnellement, les différents types de mouvement apparent sont identifiés par une lettre grecque (VandenBos, 2016, p. 27). Le déplacement observé par Exner porte donc le nom de mouvement bêta[5] (parfois abrégé en utilisant la lettre grecque β). Le mouvement bêta se définit ainsi :

> A form of apparent movement that is produced when identical stimuli are presented in an alternating pattern with an interstimulus interval of about 60 milliseconds, the visual illusion being created of a single object moving back and forth. (Colman, 2015, p. 87)

Nous verrons prochainement que le mouvement apparent du type bêta (β), tel qu'il vient d'être défini, est essentiellement le même type de mouvement employé dans une animation qui est réalisée traditionnellement sur papier et qui emploie 12 dessins par seconde. Pour une liste des autres types de mouvement apparent, voir Nichols et Lederman (1980, p. 101).

La deuxième observation d'Exner est que la perception du mouvement n'est pas associée à la mémoire. Il arrive à cette conclusion ainsi : lorsque les lumières alternent à une vitesse de 1/25 de seconde, l'observateur est en mesure de déterminer l'ordre dans lequel elles apparaissent et disparaissent. Par contre, lorsque l'intervalle est moins de 1/25 s, la perception du mouvement demeure, mais l'observateur ne peut plus déterminer l'ordre d'apparition (Sekuler et Blake, 2002, p. 373). Cette découverte est fondamentale, car, à l'époque, les chercheurs croient que la perception d'un mouvement est associée à la mémoire (Kolers, Paul A., 2013 [1972], p. 1). Selon le modèle mnésique du mouvement, en voyant un objet se déplaçant d'un point A à un point B, l'observateur se souvient de la position initiale de l'objet (A). Il la compare avec la nouvelle position de l'objet (B) et la différence entre les deux positions correspond au

[4] Exner résume ses découvertes huit ans plus tard dans «Über optische Bewegungsempfindungen [À propos des sensations visuelles de mouvement] » (1888).

[5] Curieusement, le mouvement « alpha », qui est la première lettre de l'alphabet grecque, ne désigne pas le mouvement réel. Il décrit plutôt un mouvement apparent durant lequel les stimuli grossissent et rapetissent (Nichols et Lederman, 1980, p. 101).

Figure 4.1 : Modèle mnésique du mouvement

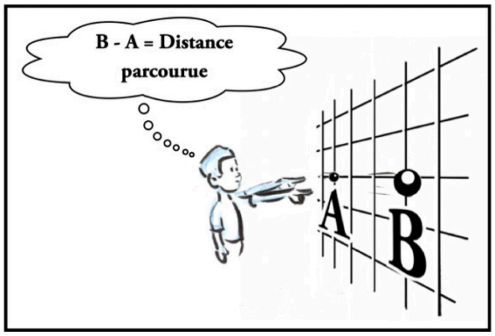


Image créée par l'auteur.

mouvement parcouru par l'objet (voir fig. 4.1). En constatant qu'il est possible de voir un mouvement à des vitesses très rapides (moins de 1/25 s) sans être capable de se souvenir de l'ordre dans lequel les objets apparaissent, Exner démontre que la perception du mouvement est un processus qui ne requiert pas d'inférence ou de calcul et fonctionne indépendamment de la mémoire. Paul Kolers (1926-1986), un chercheur qui mène des recherches importantes sur la perception au début de sa carrière (Roediger III et Craik, 1987, p. 873), souligne l'importance de la découverte ainsi :

> Working at a time when the task of psychology was taken to be the identification of the sensory elements of perception, Exner argued that motion is not an inferred attribute of objects perceived in different places, but a basic element in the mind's armamentarium. (Kolers, Paul A., 2013 [1972], p. 1)

D'après Kolers, la perception du mouvement n'est pas un processus mnésique. Il propose que les paradoxes de Zénon d'Élée soient à l'origine de cette idée fausse. Zénon (circa 495-430 av. J.-C.) est un philosophe appartenant à l'école éléatique fondée au 5e siècle avant notre ère par Parménides (né circa 515 av. JC). Ce dernier croit que tout changement est une illusion, car il n'y a qu'une seule réalité qui est fixe et immuable. Par conséquent, toutes les formes de changements, dont le mouvement, ne sont que des illusions sensorielles (Hergenhahn, 2008, p. 33-34). Pour illustrer l'immuabilité de l'existence et le fait que le mouvement n'existe pas, Zénon rédige un livre de paradoxes. Puisque cet ouvrage est perdu, les paradoxes nous parviennent du livre VI de la *Physique* d'Aristote, qui est en désaccord avec Zénon (Bathfield, 2018, p. 649-650). Le plus célèbre de ces quatre paradoxes est celui d'Achille, un coureur, qui ne sera jamais capable de dépasser un autre coureur plus lent, parce qu'il part en second et ne peut avancer que la moitié de la distance initiale. Par conséquent, « Toujours entre les deux il y a une différence qui deviendra de plus en plus petite à l'infini, mais qui ne deviendra jamais nulle » (Aristote; Saint-Hilaire, 1862, p. 287). En philosophie, certains auteurs associent encore la perception du mouvement à la mémoire (Bathfield, 2018, p. 675-676; Tooley, 1988, p. 237). Le concept éléatique d'une réalité immuable est repris par Bertrand Russell qui affirme que : « Motion is the occupation, by one entity, of a continuous series of places at a continuous series of times » (2019 [1903], p. 685-686). D'après cette idée, que Tooley (1988, p. 227) décrit comme une théorie statique du changement (*static theory of change*, en anglais), le

mouvement n'existe pas en soi, car le déplacement d'un objet n'est qu'une suite de coordonnées spatio-temporelles.

Dans le cadre du cinéma d'animation, la théorie de Russell peut servir à expliquer comment le mouvement animé est produit, car l'animation est, comme elle le propose, une déconstruction systémique du mouvement en instants discrets. De la même manière qu'une mathématicienne, une philosophe et une physicienne peuvent représenter un mouvement comme une série de coordonnées spatiales dans le temps, une animatrice peut disséquer une action en moments clés et illustrer ces instances image par image. Il faut néanmoins faire attention, car bien que cette théorie explique en partie comment un mouvement peut être créé ou représenté de manière artificielle, elle n'explique pas comment le mouvement est perçu naturellement. Tel que discuté au chapitre 2, la perception opère grâce à deux voies : la voie dorsale est responsable de la perception des mouvements et la voie ventrale est responsable de la perception de la forme. En regardant les intervalles produits par une animatrice, la voie ventrale, à elle seule, est en mesure d'identifier le personnage dessiné sur chacune des feuilles de papier et d'inférer un peu de mouvement à partir des repères visuels dans les dessins. Mais cette inférence du mouvement à travers la forme (*motion from form*) n'est qu'une suggestion, une impression du mouvement. Pour voir les dessins vraiment se déplacer dans une animation, la voie dorsale doit analyser les informations spatio-temporelles fournies par la présentation successive de ces images statiques et convertir celles-ci en mouvement en employant un système qui sera décrit prochainement. Dans ce sens, la théorie statique du changement de Bertrand Russell codifie la représentation formelle d'un objet en mouvement dans le temps et dans l'espace, mais n'explique pas comment ce mouvement est perçu.

Exner observe un dernier phénomène qui est fondamental aux sciences de la vision et au cinéma. Il commence par placer ses deux sources lumineuses côte à côte. Les deux étincelles sont si proches l'une de l'autre qu'elles apparaissent comme une seule lumière lorsqu'elles sont allumées simultanément. Malgré le fait que les étincelles soient collées, l'observateur est quand même capable de percevoir l'étincelle se déplacer d'une position à l'autre lorsque les deux lumières alternent (Sekuler, 2012, p. 104). Cette dernière observation révèle à quel point le mouvement est capable de détecter même les plus petits déplacements. Puisque cet effet subtil se décrit difficilement en mots, le phénomène est illustré dans la vidéo suivante : https://youtu.be/DppjxsSoRzk. Bien que Kolers ait raison de proposer que les mouvements fins et fluides observés par Exner ne soient pas associés à la mémoire ou à la théorie statique du changement, il se peut que certaines formes de mouvement plus saccadées le soient.

De prime abord, il est difficile de voir pourquoi les découvertes d'Exner sont si importantes pour la science et pour l'animation, car il ne fait que reproduire de manière expérimentale et avec de l'électricité les mêmes types de mouvement apparent qui sont produits par les jouets philosophiques depuis la première moitié du XIXe siècle (voir chapitre précédent). Ses observations sont néanmoins fondamentales à deux niveaux : premièrement, Exner affaiblit les fondements de la persistance visuelle, car il démontre que le système perceptuel n'a pas le temps de se souvenir de la position de deux images rétiniennes pour voir du mouvement. Deuxièmement, les recherches d'Exner sont notables parce qu'il découvre une forme de mouvement apparent, la *fine grain illusion*, qui, comme nous le verrons prochainement, fait la lumière sur le mouvement véridique du cinéma et le mouvement réel. Malgré la contribution d'Exner aux sciences de la vision, ses recherches, publiées en allemand, ne semblent pas être connues par les premiers cinéastes et théoriciens du cinéma. Par conséquent, à l'exception de Hugo Münsterberg [6], la communauté cinématographique, savante et artistique, continue d'adhérer à la théorie de la persistance visuelle. De surcroît, il semble que ses découvertes sur le mouvement n'aient pas eu d'effet immédiat sur la communauté scientifique, parce que plus d'une vingtaine d'années s'écoulent avant que le phénomène ne soit étudié à nouveau (Kolers, Paul A., 2013 [1972], p. 8)[7]. C'est donc Max Wertheimer qui continuera le travail commencé par son ancien superviseur postdoctoral[8]. Nous verrons cependant qu'en plus d'avoir révolutionné la psychologie perceptuelle, les découvertes de Wertheimer ont aussi causé une confusion terminologique importante qui perdure non seulement dans les sciences, mais aussi dans les écrits pratiques et savants portant sur le cinéma.

4.2 Wertheimer : le phénomène phi et le mouvement bêta

> « One sees motion: an object has moved from one location to another ».
> (Wertheimer, Max, 2012 [1912], p. 2)

Anderson et Anderson remarquent que les premières recherches sur le mouvement apparent ont causé beaucoup de confusion dans les écrits scientifiques sur le phénomène (1993, p. 4). Par exemple, bien que

[6] Hugo Münsterberg ne croit pas que la persistance rétinienne soit la cause de la perception du mouvement cinématographique. Il croit plutôt qu'il faut se tourner vers des études expérimentales pour tenter de mieux comprendre le phénomène. Il identifie plusieurs chercheurs, dont Exner et Wertheimer, qui ont mené des recherches expérimentales prometteuses sur le mouvement (Münsterberg, 2002 [1916], p. 73).

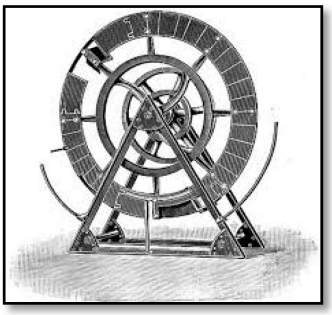
[7] Cela dit, Exner revient au sujet plus de dix ans plus tard dans « Über optische Bewegungsempfindungen [À propos des sensations visuelles de mouvement] » (1888). Cet article est cité par Sekuler et Blake (2006, p. 2006), car Exner y résume ses découvertes.

[8] Selon Sekuler, citant un article écrit en allemand, Wertheimer a fait des travaux postdoctoraux avec Exner (Sarris, Victor et Wertheimer, 1987; Sekuler, 2012).

nous ayons qualifié le type de mouvement que nous percevons au cinéma comme étant « apparent » ou bêta (β), certains écrits le nomment le phénomène phi (ϕ), l'effet phi ou le mouvement phi. Selon Steinman, Pizlo et Pizlo (2000), cette confusion terminologique débute avec la découverte de l'effet phi, en 1912 par Max Wertheimer qui, en poursuivant les recherches d'Exner (1875b), de Karl Marbe[9] (1910, p. 61) et de Friedrich Schumann[10] (Sarris, Viktor, 2012, p. 94; Wertheimer, Max, 2012 [1912], p. 2-3), est le premier scientifique à étudier systématiquement le mouvement apparent et, ce faisant, devient le fondateur de la psychologie de la Gestalt (voir chap. 2)[11].

Max Wertheimer (1880-1943) est un psychologue allemand né à Prague. À l'âge de 53 ans, il émigre avec son épouse et leurs trois enfants à New York pour fuir les nazis. Ses collègues le suivent et l'école de la Gestalt est ainsi déplacée aux États-Unis (Colman, 2015, p. 313; Hergenhahn, 2008, p. 459). Son intérêt pour le mouvement animé et l'inspiration pour la Gestalt semblent avoir été suscités par un voyage en train durant lequel il réalise que les perceptions ne sont pas structurées de la même façon que nos sensations. Il débarque du train, achète un stroboscope et constate en le regardant qu'il perçoit un mouvement illusoire (Goldstein et Cacciamani, 2022, p. 95; Hergenhahn, 2008, p. 458-459). D'après une autre histoire apocryphe, Wertheimer s'intéresse au mouvement apparent en pensant aux aspects physiologiques et psychologiques d'un film (Kolers, Paul A., 2013 [1972], p. 8). Peu importe l'élément déclencheur, Wertheimer, qui avait comme professeur Christian von Ehrenfels (1859-1932) et a été influencé par ce dernier (Hergenhahn, 2008, p. 457-458), s'intéresse à l'étude du mouvement apparent et entreprend de 1910 à 1912 une série d'expériences perceptuelles à l'Université de Psychologie de Francfort. Ses tests sont effectués grâce au parrainage de Friedrich Schumann (1863-1940), le directeur de l'institut. En plus de l'aider, Schumann lui fournit un tachistoscope qu'il a développé (Sarris, Viktor, 2012, p. 93; Stock, 2014). Ayant l'apparence d'une grande roue de fête foraine (voir fig. 4.2), cet appareil expérimental peut : « projeter, à différentes vitesses, des

Figure 4.2 : Schumann's Wheel Tachistoscope



Cette image est prise de Stock (2014, p. 152)

[9] Dans un article publié en 1910 (p. 61), Karl Marbe (1846-1926) décrit des formes de mouvement apparent produites par des lampes stationnaires, mais il ne fournit pas de détails expérimentaux (p. ex. la distance séparant les lampes et la durée des éclats de lumière).

[10] Bien que Wertheimer cite Schumann, l'article original de ce dernier n'a pas été trouvé.

[11] Les auteurs décident d'écrire l'article après qu'un groupe d'étudiants ait contesté l'importance du travail de Wertheimer en soulignant que la popularité des jouets philosophiques au XIXe siècle fait en sorte que le mouvement apparent était un phénomène perceptuel connu à l'époque de la publication de sa monographie (Steinman *et al.*, 2000, p. 2259).

images lumineuses devant le sujet afin de mesurer la rapidité de la perception visuelle » (Antidote, 2022v). L'instrument permet d'éliminer l'effet des images rémanentes et de présenter deux images l'une après l'autre, tout en contrôlant l'intervalle temporel entre leurs apparitions (Flatau et Giering, 1899, p. 97-98; Stock, 2014, p. 151).

Alors qu'Exner utilise des étincelles 24 ans plus tôt dans ses expériences, le tachistoscope et les autres instruments employés par Wertheimer permettent à ce dernier de tester méticuleusement plusieurs types de phénomènes visuels en contrôlant et en modifiant une panoplie de facteurs, tels que la forme du stimulus, son intensité, sa couleur et son orientation. De plus, les variables expérimentales comme la durée d'affichage d'un stimulus (*stimulus duration* ou SD), la distance séparant deux stimuli et la durée de l'intervalle vide entre la disparition d'un objet et l'apparition de l'autre (appelée *interstimulus duration* [ISD] ou *interstimulus interval* [ISI], en anglais[12]) peuvent également être ajustées (Sarris, Viktor, 2012, p. 94-95; Wertheimer, Max, 2012 [1912], p. 5-6). Malgré le fait que Wertheimer observe et décrit plusieurs types de phénomènes perceptuels, tels que les sensations rémanentes et l'attention visuelle (2012 [1912], p. 6), ce sont ses observations sur le mouvement apparent qui nous concernent. Avant de procéder, il faut préciser que Wertheimer n'emploie que trois participants dans ses expériences. Ces derniers sont deux cofondateurs de la Gestalt, Wolfgang Köhler et Kurt Koffka, ainsi que l'épouse de ce dernier : Mira Koffka-Klein (Max Wertheimer, 2012;1912, p. 14). Même si des résultats basés sur un échantillon aussi restreint et potentiellement biaisé ne seraient pas acceptés aujourd'hui, il est important de décrire les phénomènes observés par Wertheimer, car ils sont centraux au mouvement animé et ont été reproduits par d'autres chercheurs depuis. Nous ne nous attarderons cependant pas aux détails expérimentaux.

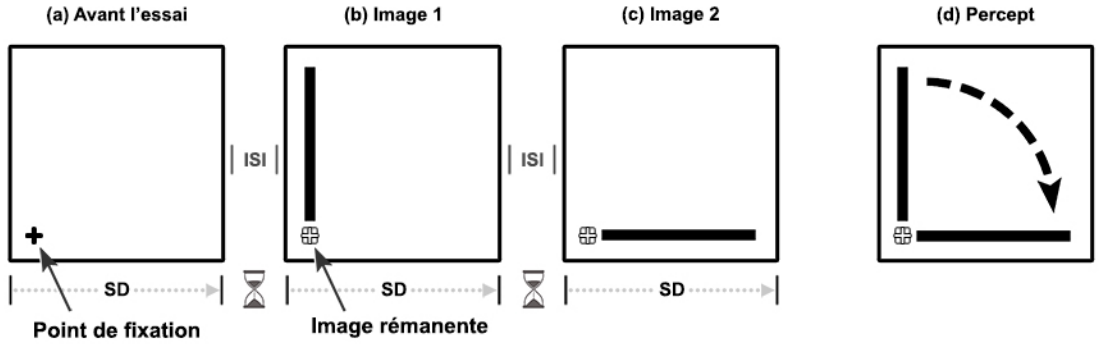
Dans une des expériences de Wertheimer illustrée à la figure 4.3, deux images apparaissent et disparaissent de manière successive à deux endroits différents (fig. 4.3b et 4.3c). L'image d'une forme à une position *b* est ainsi présentée pour une certaine durée (SD[13]). La forme b disparaît pour une certaine durée (ISI) et une deuxième forme est présentée à une position *c*. Puisque les deux formes sont généralement identiques, l'observateur perçoit la même forme se déplacer de la position *b* à la position *c*, si les conditions expérimentales le permettent. Wertheimer cherche à déterminer les facteurs causant la perception de ce mouvement apparent. Il se demande notamment si les mouvements oculaires jouent un rôle dans la perception du mouvement apparent. Wertheimer écarte cette possibilité puisque

[12] Par soucis de clarté, seul le terme ISI (*interstimulus interval*) sera utilisé dans la thèse (Colman, 2015, p. 387).

[13] La durée d'affichage des stimuli n'est malheureusement pas précisée. Nous verrons que ce manque d'informations importantes peut contribuer aux mauvaises interprétations des découvertes de Wertheimer.

l'observateur est en mesure de voir du mouvement apparent (fig. 4.3d) même lorsque son regard est fixe (fig. 4.3a) (Sekuler, 2012, p. 104-105; Wertheimer, Max, 2012 [1912], p. 20-21).

Figure 4.3 : Expérience de Wertheimer



L'observateur doit d'abord regarder le point de fixation avant l'essai (a) pour un certain laps de temps (*SD* ou durée du stimulus). L'image 1 (b) qui apparaît et disparaît est suivie par l'image 2 (c). L'observateur, même s'il continue de fixer la croix, perçoit du mouvement (d). Entre chaque image, il y a un laps de temps (ISI). Cette image est reproduite (avec certains ajouts) de Sekuler (2012, p. 105).

En ajustant la distance entre deux stimuli, en modifiant leur durée d'affichage (SD) et en changeant la durée de l'intervalle (ISI) qui les sépare, Wertheimer observe trois phénomènes perceptuels : la simultanéité, le mouvement apparent et la succession.

Premièrement, lorsque les deux images alternent extrêmement rapidement (environ 30 ms ou un peu moins de 1/30 s[14]), les deux objets apparaissent *simultanément* à l'écran, comme s'ils avaient été superposés sur la même image (Sarris, Viktor, 2012, p. 95). Dans le cas d'une simultanéité, il n'y a pas de mouvement, mais une sorte de fusion des deux images. L'effet est semblable à la fusion des deux images d'un thaumatrope lorsqu'il est tourné rapidement (voir chap. 3). Deuxièmement, lorsque l'intervalle entre les stimuli est lent (plus de 200 ms ou 5/24 s de ISI), Wertheimer observe la *succession* (de deux images ou objets distincts [2012, p. 95]). Dans une succession, il n'y a pas d'impression de mouvement entre deux images, car nous interprétons leur apparition et disparition successive comme deux événements déconnectés. Par conséquent, une première image apparaît et disparaît. Elle est suivie par une seconde image, indépendante de la première, qui apparaît et disparaît à son tour (Steinman *et al.*, 2000, p. 2259).

[14] Puisque l'animateur est familier avec les valeurs temporelles associées aux cadences de film (p. ex. 12 i/s, 24 i/s ou 30 i/s) et que les recherches scientifiques mesurent ces valeurs en secondes ou en millisecondes, les deux valeurs seront mentionnées. Les valeurs en i/s seront arrondies pour éviter les décimales.

Finalement, lorsque l'intervalle temporel (ISI) est d'environ 60 ms ou 1,5/24 s ou 1,8/30 s[15], Wertheimer recrée le mouvement apparent (bêta ou β) qui a été observé par Exner (Steinman *et al.*, 2000, p. 2259). Par contre, il ne qualifie pas ce mouvement de « bêta » ou d'« apparent ». Il l'appelle plutôt « mouvement optimal[16] » (Sarris, Viktor, 2012, p. 95; Wertheimer, Max, 2012 [1912], p. 5). Puisqu'il est difficile de visualiser les phénomènes observés par Wertheimer à partir de descriptions écrites, ils ont été reproduits dans la vidéo suivante : https://youtu.be/JGK7B8P7kp8. N'ayant pas un tachistoscope, nous avons tenté de recréer les phénomènes observés par Wertheimer et ses participants numériquement dans Adobe After Effects CC 2020[17] (Sarris, Viktor, 2012, p. 94; Sekuler, 2012; Steinman *et al.*, 2000; Wertheimer, Max, 2012 [1912]).

En plus des trois phénomènes que nous venons de décrire (c'est-à-dire la succession, le mouvement et la simultanéité), Wertheimer découvre un quatrième phénomène qui changera l'histoire de la psychologie et qui a indirectement causé la confusion dans les écrits sur le mouvement filmique. Entre la simultanéité et le mouvement apparent, c'est-à-dire lorsque la durée de l'intervalle se situe entre 80 et 100 ms (~1/12 s), Wertheimer observe un mouvement pur qui est sans forme, car il connecte les figures, mais est désincarné (Nichols et Lederman, 1980, p. 101; Turvey, 2018, p. 220). Une autre particularité du phénomène est que sa couleur est celle du fond de l'image plutôt que la couleur des objets affichés. Il s'agit du mouvement phi (ϕ), qui prend son nom du grec « **ϕ**αινόμενο » pour « phénomène » (Sarris, Viktor, 2012, p. 94). L'effet est si particulier qu'il est pertinent d'en fournir une définition formelle.

> **phi movement** n. A form of pure objectless apparent movement, without the appearance of any entity actually moving, that occurs when two visual stimuli a few centimetres apart are presented in an alternating pattern with an interstimulus interval too long for the stimuli to appear simultaneous or for partial movement or optimal movement to occur but not long

[15] Il convient de noter que la valeur découverte par Wertheimer pour le mouvement apparent bêta (60 ms ou 1,5/24 s) se situe entre la plus petite unité d'un film (1/24 s) et 1/12 s, qui est une cadence employée communément en animation. Il faut néanmoins souligner qu'il n'est pas question de la cadence d'un film, c'est-à-dire de la durée de chacune de ces images (SD), mais plutôt de la durée entre les images (ISI), durant laquelle il n'y a rien à l'écran.

[16] C'est-à-dire *Optimalbewegung*, en allemand.

[17] Bien que Wertheimer liste souvent les durées de ses stimuli, il est important de préciser que ce ne sont pas des valeurs absolues. Trois facteurs interconnectés peuvent influencer les résultats dans des expériences de ce type. Ces variables sont 1) la durée durant laquelle chaque image est affichée (appelée *SD* ou *stimulus duration*), 2) la distance séparant A et B et 3) la durée de l'intervalle vide entre la disparition d'un objet et l'apparition de l'autre (appelée *ISI* [*interstimulus interval*]). Même si Wertheimer est rigoureux dans ce qui est décrit, l'omission d'un de ces trois facteurs interdépendants peut rendre la reproduction des effets observés difficiles. Une autre difficulté réside dans les caractéristiques et les particularités des instruments expérimentaux employés par Wertheimer. Il a donc été nécessaire d'effectuer plusieurs tentatives et tests afin de produire ce que nous considérons être des représentations relativement fidèles des phénomènes découverts et décrits par Wertheimer.

> enough for the disappearance of apparent movement and the veridical perception of the stimuli simply alternating. (Colman, 2015, p. 571)

Le mouvement phi peut être observé directement en se référant à la vidéo suivante : https://youtu.be/2wujosr6CGk.

4.2.1 La confusion entre le Φ et le β

La découverte de l'effet phi marque un moment important en psychologie, car la monographie de Wertheimer lance la révolution de la Gestalt (Steinman *et al.*, 2000), établit l'approche phénoménologique en psychologie expérimentale (Kolers, Paul A., 2013 [1972], p. 13-14) et est un texte majeur en études de la vision (Sekuler, 2012, p. 101) qui demeure cité encore aujourd'hui. Mais puisqu'il est question du cinéma d'animation, est-il vraiment nécessaire de différencier le mouvement apparent bêta (β) de l'effet phi (Φ) ? Après tout, il est clair que ce sont des phénomènes différents. Une telle clarification est cependant nécessaire, car l'effet phi est devenu dans certains écrits le terme employé pour désigner le mouvement cinématographique et animé. Par exemple, dans *The Cinema Effect*, Sean Cubitt (2005, p. 66) décrit l'évolution des théories sur la perception comme étant un passage de la persistance rétinienne à l'effet phi. Il écrit :

> The twentieth [century] shifted from the physiological thesis of retinal retention to the cognitive thesis of the Phi effect, from the eye smoothing over the gaps to the brain interjecting the 'missing' elements of intermittent images (Gardner 1987: 111-112; the term was coined by Wertheimer in 1912).

Bien qu'il soit regrettable qu'un texte en études cinématographiques associe l'effet phi au mouvement bêta, l'erreur n'est pas surprenante, car, comme Steinman *et al.* le soulignent (2000, p. 2257), de nombreux scientifiques confondent les deux termes. Cubitt, par exemple, base ses propos sur les écrits de Howard Gardner (1985, p. 111). Puisque ce dernier est le Hobbs Professor of Cognition and Education à Harvard, Cubitt n'a aucune raison de penser que sa source respectable confondrait l'effet phi avec le mouvement bêta. La citation suivante exemplifie pourtant bien la confusion, car dans *Visual Perception: A Clinical Orientation*, un manuel scolaire publié il y a quelques années, l'auteur confond visiblement les deux termes et utilise l'effet phi pour décrire le mouvement bêta.

> […] when spatially separated lights are sequentially flashed with an appropriate interval between the flashes, a sense of motion is elicited (Korte, 1915; Bartley, 1963). Referred to as stroboscopic motion, or the phi phenomenon, this effect is common in lighted signs that create the illusion of motion. (Schwartz, S. H., 2017, p. 197)

Malheureusement, ce type d'erreur n'est pas rare dans les écrits scientifiques (Macknik *et al.*, 2010, p. 109; Rogers, B. J., 2017, p. 53; Wood *et al.*, 2009b, p. 109). Pourquoi est-ce le cas ? Les causes semblent multiples. Dans un premier temps, même si la monographie de Wertheimer (2012 [1912]) est un des textes fondateurs en psychologie et continue d'être pertinente aujourd'hui[18], elle a été traduite en anglais seulement en 2012, cent ans après sa publication en allemand. De plus, même si un chercheur avait été en mesure de trouver et de lire la monographie en allemand avant 2012, il aurait été difficile de comprendre le texte, car le style scientifique de l'époque est dense et ardu, selon Michael Wertheimer, le fils de Max (2012, p. vii). De surcroît, Max Wertheimer invente des termes particuliers et originaux pour décrire les phénomènes observés dans plus d'une douzaine d'expériences et démonstrations diverses (Kolers, Paul A., 2013 [1972], p. 13; Sekuler, 2012, p. 101; Shipley, T. E., 1961; Steinman *et al.*, 2000, p. 2258).

Un autre facteur contribuant à la confusion entre le phi et le bêta est une erreur importante commise par le psychologue de renom Edwin Boring. Dans son livre *Sensation and Perception in the History of Experimental Psychology* (1942), Boring explique que le phénomène phi apparaît quand l'intervalle entre les stimuli est plutôt lent (entre la succession et le mouvement apparent), alors que c'est le contraire : l'effet phi apparaît lorsque l'intervalle est rapide, entre le mouvement apparent et avant l'apparition simultanée des stimuli (Boring, 1942, p. 595; Steinman *et al.*, 2000, p. 2259). L'erreur commise par Boring dans un livre qui a le statut d'une référence classique en psychologie (Stevens, S. S., 1973, p. 60) a donc perpétué l'incompréhension au sujet de l'effet phi. Par ailleurs, Kolers (2013 [1972], p. 9-10) observe que cette confusion peut être exacerbée par le fait que certains chercheurs emploient les termes « mouvement phi » ou « phénomène phi » pour décrire toutes les formes de mouvements illusoires. Quarante ans plus tard, Munday (2014) remarque que cette nomenclature imprécise persiste, car certains auteurs utilisent **des** phénomènes phi (*phi phenomena,* au pluriel) pour désigner à la fois le mouvement phi et le mouvement bêta, alors que **le** phénomène phi (*phi phenomenon,* au singulier) ne désigne que le mouvement apparent pur et sans objet. Ce désordre terminologique illustre à quel point la psychologie est composée de multiples branches hyperspécialisées. Par conséquent, il est possible qu'un chercheur s'intéressant à un phénomène particulier ne soit pas conscient des développements dans une autre discipline. Par exemple, un savant qui se spécialise en illusions visuelles statiques (p. ex. le cube de Ruben) ne connaît pas nécessairement les mécanismes régissant la perception de mouvements illusoires comme

[18] La monographie lance la révolution de la Gestalt (Steinman et autres, 2000), établit l'approche phénoménologique en psychologie expérimentale (Kolers, 1972, p. 13) et est un texte majeur en étude de la vision (Sekuler, 2012, p. 101) qui est encore cité aujourd'hui.

le mouvement apparent. Ceci semble être le cas de Richard Gregory (1923-2010), une figure éminente en psychologie et un expert en illusion visuelle, qui décrit le mouvement apparent cinématographique comme étant du mouvement phi dans sa cinquième édition de *Eye and Brain* (Gregory, 2015 [1997], p. 116-119).

Pour différencier les deux types de mouvement et éviter toute forme de confusion, les termes « **mouvement apparent »** et le **« mouvement bêta »** seront employés pour identifier et décrire le mouvement perçu et employé au cinéma et en animation. **L'effet** ou **le phénomène phi** seront les termes employés pour désigner uniquement le mouvement pur découvert par Wertheimer. Finalement, le terme général et ambigu « les phénomènes phi » n'est pas utilisé dans ce texte.

Cette discussion des phénomènes observés par Wertheimer soulève quelques questions quant à la nature du mouvement animé. La perspective évolutionniste propose que notre système perceptuel ait évolué pour nous permettre de survivre et de naviguer dans l'environnement, mais les mouvements apparents de Wertheimer sont d'une nature artificielle. Il est ainsi peu probable que nos ancêtres, chassant et cueillant sur les steppes africaines, aient été exposés à l'effet phi ou même à du mouvement apparent. La première question est donc : pourquoi sommes-nous en mesure de percevoir du mouvement apparent ? La deuxième question porte sur la nature des deux types de mouvement apparent qui ont été décrits. Wertheimer a confirmé qu'un mouvement apparent optimal est perçu quand les stimuli sont espacés d'un centimètre et plus [19] (Wertheimer, Max, 2012 [1912], p. 15), et Exner (1875a) crée un mouvement apparent lorsque ses stimuli sont accolés (Wolfe *et al.*, 2019, p. 249). Le mouvement optimal ou bêta de Wertheimer est saccadé, alors que le mouvement d'Exner est plus réaliste, plus fluide. Ces deux types de mouvements relèvent-ils vraiment du même phénomène, et que peuvent-ils nous apprendre sur le mouvement animé ? Nous verrons à la section suivante qu'il existe effectivement deux types de mouvement apparent et qu'ils sont tous les deux employés en animation.

4.3 Les mouvements apparents de longue portée et de courte portée

Tel que mentionné, le mouvement apparent est la : « perception of smooth motion from brief, successive exposures of static images » (Blake et Shiffrar, 2007, p. 49). Cette définition décrit succinctement le mouvement cinématographique qui nous semble naturel, mais elle ne reconnaît pas le fait qu'un

[19] Les stimuli de Wertheimer (2012 [1912]) sont généralement espacés d'au moins un centimètre. Par exemple, il décrit une expérience où ses stimuli (des objets parallèles ou à un angle) sont espacés par 1, 3 ou 5 cm (p. 15).

mouvement apparent peut aussi être saccadé. Ceci est dû au fait qu'un bon nombre des écrits ne font pas la différence entre un mouvement apparent produit par des stimuli espacés et un mouvement apparent produit par des stimuli proches. Pourtant, Sigmund Exner (1875a, 1875b), Karl Marbe (1910, p. 61) et Max Wertheimer (2012 [1912]) démontrent qu'un mouvement apparent est perçu entre l'apparition et la disparition successive de deux stimuli, espacés de quelques centimètres. Puisque cette illusion est observée alors que les deux stimuli sont quelque peu séparés, ce type de mouvement apparent est dit **de longue portée**. À la différence du mouvement perçu au cinéma, le mouvement apparent de longue portée n'est pas fluide. Bien qu'il soit parfois qualifié de stroboscopique (Schiffman, 2001, p. 210), le mouvement n'est pas nécessairement dérangeant comme une lumière stroboscopique ou papillotante peut l'être. Le déplacement est simplement saccadé et a une qualité artificielle ou mécanique. Par exemple, lorsqu'une lumière semble contourner une marquise de cinéma, nous percevons un mouvement apparent de longue portée, parce qu'il y a une certaine distance entre les ampoules. Ce type de mouvement est illustré dans la vidéo suivante : https://youtu.be/kShI36NQzfU.

Malgré le fait que le mouvement apparent de longue portée a un caractère particulier qui le différencie d'un vrai mouvement, les chercheurs ont tout simplement supposé jusqu'aux années 1970 que le mouvement apparent de longue portée et le mouvement réel opèrent de la même manière. Kolers croit cependant que les deux mouvements sont différents, et consacre ainsi une vingtaine d'années à étudier, avec James R. Pomerantz, les différentes formes de mouvement apparent. Il s'intéresse plus particulièrement aux façons dont le mouvement réel et le mouvement apparent diffèrent (Anderson, J. D., 1998, p. 58; Kolers, Paul A., 2013 [1972], p. 39). Puisque les expériences de Wertheimer et Exner n'emploient que deux stimuli et qu'il y a généralement plusieurs choses en mouvement dans notre environnement, Kolers et Pomerantz se demandent ce qui arrive au mouvement apparent lorsqu'il y a plusieurs stimuli. Dans un premier temps, ils confirment que l'alternance de deux stimuli provoque le mouvement bêta d'un objet qui se déplace. Ces chercheurs découvrent par contre que le mouvement apparent de longue portée disparaît lorsqu'il y a 4, 8 ou 16 éléments, mais revient lorsqu'il y a 32 ou 64 éléments dans l'expérience. Cette constatation suggère que le mouvement bêta de longue portée créé par deux stimuli n'opère pas selon les mêmes règles que le mouvement réel qui est composé de plusieurs éléments (Anderson, J. D., 1998, p. 58-59; Kolers, Paul A. et Pomerantz, 1971, p. 39).

Comme cela a été mentionné, Sigmund Exner démontre que deux étincelles accolées génèrent une impression de mouvement lorsqu'elles sont allumées successivement, même si elles semblent être au

même endroit lorsqu'elles s'allument simultanément (Exner, 1875a, p. 407-408; Schuler, 2016, p. 89). Ce type de mouvement apparent est dit de courte portée (*short-range apparent motion* ou SRAM en anglais), à cause de la proximité des stimuli. Cette illusion est aussi appelée le *fine grain motion illusion* (FGMI) par Foster *et al.* (1981, p. 1123). Dans un film en PVR, une caméra capte une série de photogrammes rapidement. Les positions successives d'un objet en mouvement sur la pellicule sont ainsi relativement proches d'une image à l'autre. Même si ces distances varient d'une action à l'autre et que tous les mouvements cinématographiques ne sont pas nécessairement aussi « fins » que les mouvements produits par Exner, la proximité spatiale des images photographiées et projetées au cinéma fait en sorte que le mouvement cinématographique est un mouvement apparent de courte portée. Alors que le mouvement apparent de longue portée est saccadé, le mouvement cinématographique de courte portée est fluide et nous semble tout à fait naturel. La nature réaliste du mouvement cinématographique soulève une question capitale qui est d'abord posée par Hugo Münsterberg en 1915. Ce dernier se demande s'il existe une différence entre un mouvement réel et un mouvement cinématographique. Il formule sa question et tente d'y répondre ainsi :

> What is then the difference between seeing motion in the photoplay and seeing it on the real stage? There on the stage where the actors move the eye really receives a continuous series. Each position goes over into the next without any interruption. The spectator receives everything from without and the whole movement which he sees is actually going on in the world of space without and, accordingly, in his eye. But if he faces the film world, *the motion which he sees appears to be a true motion, and yet is created by his own mind*. (Münsterberg, 2002 [1916], pp. 77-78, italique préservé)

Par ailleurs, d'après plusieurs chercheurs, il n'y a pas vraiment de différence entre un mouvement réel et un mouvement apparent de courte portée, car le système perceptuel est incapable de différencier les deux phénomènes métamères[20] (Park, W. J. et Tadin, 2018, p. 416). Par conséquent, le mouvement apparent de courte portée est traité de la même façon que le système perceptuel traite un mouvement réel (Anderson, J. D., 1998, p. 61). Anderson précise néanmoins que le mouvement apparent de courte portée est une illusion. Il écrit :

> The visual system simply fails to detect the real difference between the successive changes in the static frames of a motion picture and the continuous changes of natural motion. This is

[20] À ne pas confondre avec la métamérie, qui est un terme zoologique désignant un animal composé de petits segments biologiques appelés des métamères (Antidote, 2022n), l'adjectif « métamère » peut être utilisé pour décrire deux phénomènes visuels différents qui sont identiques d'un point de vue perceptuel. Le terme « métamère » est généralement employé en optique pour décrire deux couleurs qui sont différentes, mais perçues comme étant identiques à cause de la lumière. « Metamerism is the phenomenon of lights appearing the same to the eye, or, more generally, sensor system, but having different spectral radiant power distributions over the visible spectrum » (David H Foster, Thorson, McIlwain et autres, 1981, p.1).

> another occasion when the visual processing, following the internal rules of the system, results in a percept that is nonveridical–it is an illusion. (Anderson, J. D., 1998, p. 61)

Les deux types de mouvement apparent (long et court) sont donc régis par des systèmes perceptuels différents et par des règles différentes. Cette différence est logique, car un objet en mouvement ne se téléporte pas d'un endroit à l'autre dans la vraie vie comme le font les stimuli plus espacés dans un mouvement apparent de longue portée (p. ex. néons d'une marquise). Mais qu'en est-il du mouvement animé ? Est-il de courte portée ou de longue portée ? Avant de décrire la façon dont les deux formes de mouvements apparents sont utilisées en animation, il est important de s'interroger sur la nature du mouvement lui-même. En d'autres mots, qu'est-ce qu'un mouvement, qu'il soit réel ou illusoire, quelles sont ses caractéristiques et comment est-il perçu ?

4.4 Le mouvement et la vitesse

Les savants cherchent à comprendre le mouvement depuis l'Antiquité (Cassidy *et al.*, 2015, p. 15-16; Park, W. J. et Tadin, 2018, p. 416), mais ce n'est qu'à partir de la publication de *Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica* par Sir Isaac Newton (2016 [1999, 1726]) que le mouvement est exprimé pour la première fois de manière mathématique, scientifique et moderne. D'abord, le mouvement n'est pas une propriété fondamentale de la matière en physique newtonienne (Park, W. J. et Tadin, 2018, p. 416), car le mouvement résulte d'une force agissant sur de la matière. Plus spécifiquement, un mouvement est un changement de position dans le temps (p. 418). Ceci rappelle la définition du mouvement par Russell citée à la section 4.1. Par conséquent, le mouvement est exprimé comme un rapport entre la distance parcourue par un objet et la durée du déplacement. Ce quotient[21] s'appelle la vitesse et celle-ci se calcule en divisant la distance parcourue (d) par un objet par la durée ou l'intervalle de temps (t) du déplacement. L'équation est donc :

Vitesse =	$\frac{\Delta d}{\Delta t}$	(Cassidy *et al.*, 2015, p. 22)

Dans une formule mathématique, le symbole Δ (du grec *delta*) représente la différence ou la variation de la variable qui suit (Cassidy, Holton et Rutherford, 2015, p. 21). Par conséquent, dans cette formule pour la vitesse, Δ *d* signifie la distance parcourue et se calcule en soustrayant la distance initiale à la distance finale. Symboliquement, nous obtenons la formule suivante : $\Delta d = d_{finale} - d_{initiale}$. En ce qui concerne la

[21] « Un quotient compare une valeur à une autre » (Cassidy, Holton et Rutherford, 2015, p. 22).

dimension temporelle d'un mouvement, la durée de l'intervalle (Δt) se calcule ainsi : $\Delta t = t_{final} - t_{initial.}$ Bien qu'elle ne représente pas le mouvement en tant que tel, la vitesse est néanmoins une valeur qui nous donne « l'allure » du mouvement (Cassidy *et al.*, 2015, p. 22). Un mouvement peut être décrit comme lent ou rapide, mais ces qualificatifs sont relatifs à l'objet qui se déplace et au contexte. Par exemple, le record mondial de vitesse pour une course humaine maintenue sur une distance de 1,6 km (1 mile) est de 25,91 km/h (16,1 m/h). C'est extrêmement rapide pour une tortue géante qui bouge à une vitesse maximale de 0,27 km/h, mais c'est relativement lent pour un guépard qui peut courir jusqu'à 103 km/h sur 200 mètres (Buckley, 2013). La vitesse est ainsi une des caractéristiques principales du mouvement en physique et en animation. En plus d'avoir une vitesse, un mouvement a également une orientation. Comme nous l'avons vu au dernier chapitre, les cellules ganglionnaires sont tellement spécialisées qu'elles ne sont calibrées qu'à une seule direction ou orientation. Par exemple, un ensemble de cellules couvrant l'ensemble du champ visuel ne sera sensible qu'aux déplacements allant de gauche à droite, alors qu'un autre groupe de cellules détectera les mouvements allant dans le sens inverse (Barlow et Hill, 1963; Han *et al.*, 2021, p. 1). Nous reviendrons à l'importance de la direction aux prochains chapitres, car la nature d'une trajectoire est associée non seulement à la physique, mais nous aide aussi à déterminer si un mouvement est vivant ou non.

Bien que la vitesse soit une notion abstraite qui n'explique pas comment nous sommes en mesure de percevoir un mouvement, elle est indispensable en animation et en mathématiques, car elle nous permet de représenter un mouvement. De surcroît, la vitesse identifie les ingrédients essentiels à ce percept – pour percevoir un mouvement, le système perceptuel doit posséder des mécanismes capables de mesurer et de comparer la distance parcourue par un objet en mouvement et la durée de ce déplacement.

4.5 La perception du mouvement et le modèle de Reichardt

Malgré son importance fondamentale, les chercheurs ne savent toujours pas avec certitude comment nous percevons le mouvement. Ce fait surprenant peut être expliqué par le fait que la perception du mouvement est un phénomène psychophysique extrêmement complexe. Tel que discuté au chapitre 2, le mouvement est traité par la voie dorsale. Cette description simple peut néanmoins induire en erreur, car en réalité chacune de nos rétines contient 90 millions de bâtonnets (Purves *et al.*, 2019, p. 232) et le cerveau humain adulte possède approximativement 90 billions de neurones et 100 trillions de synapses (Cobb, 2020, p. 246-247). La complexité des interconnexions et des échanges entre ces éléments, aires et modules est ahurissante. Une étude, citée par Park, W. J. et Tadin (2018, p. 415), estime que la perception

d'un mouvement requiert des interactions entre au moins 17 aires corticales[22] (Sunaert *et al.*, 1999). Il n'est donc pas surprenant que les scientifiques ne s'entendent toujours pas sur la manière dont un mouvement est perçu. Pour pouvoir mieux comprendre notre système neurobiologique, les chercheurs emploient une stratégie qui est résumée parfaitement par Richard Masland. Ce dernier rapporte qu'au début de sa carrière de chercheur, Stephen Kuffler, un des pionniers de l'approche biologique en neuroscience, lui a offert le conseil suivant : « You learn something general by studying something specific » (Masland, 2020, p. 26). Cette approche a été adoptée par les chercheurs dans le domaine. Au lieu de mener des expériences sur des êtres humains, ils étudient plutôt des organismes simples, comme une espèce de ver minuscule (*Caenorhabditis elegans*) et la mouche à fruits[23] (drosophile) (Cobb, 2020, p. 384-385), dont le cerveau de l'asticot ne contient que 10 000 neurones (p. 257). Cette stratégie a porté ses fruits lorsque Werner Reichardt et Bernhard Hassenstein étudient comment les drosophiles et les scarabées perçoivent le mouvement (1956). De leurs recherches est né le Hassenstein–Reichardt EMD[24], qui est un des premiers modèles cherchant à expliquer la perception du mouvement (Wolfe *et al.*, 2019, p. 248). Il est important de décrire le modèle, car il est en mesure d'expliquer comment le mouvement apparent de courte portée est perçu.

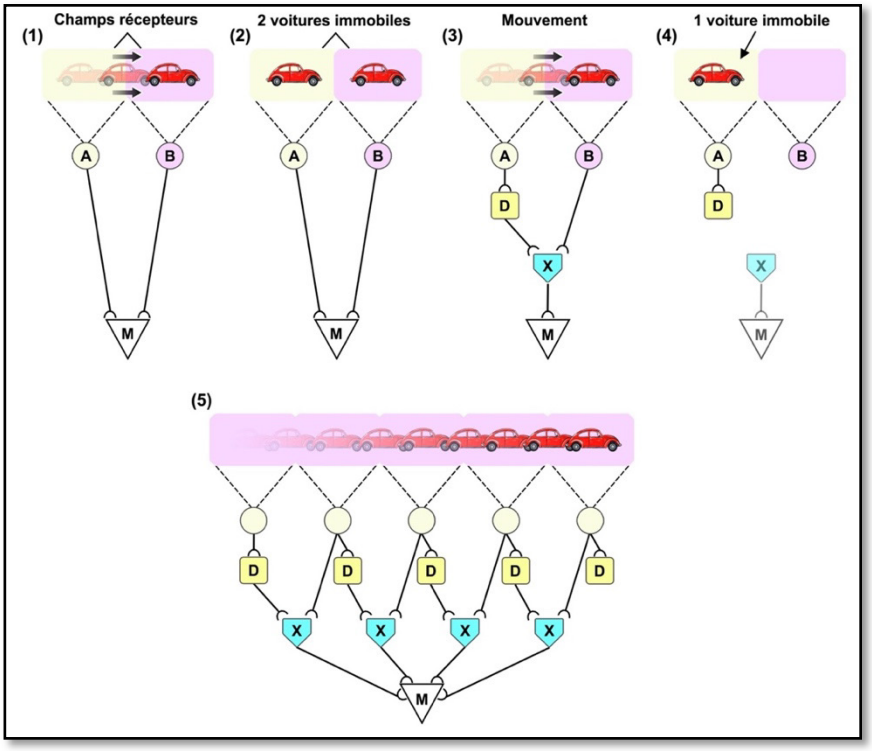
[22] Plus précisément, les 17 aires corticales sont plus actives lorsque nous voyons un objet en mouvement que lorsque nous regardons un objet immobile. Ce type de résultat approximatif et quelque peu vague est typique de la technique de l'imagerie par résonance magnétique anatomique et fonctionnelle (fMRI), car celle-ci ne mesure pas l'activité cérébrale en tant que telle. Elle donne une approximation des aires qui sont impliquées dans certaines activités, car elle mesure plutôt le degré d'oxygénation du sang qui circule. Il y a donc une corrélation entre l'activité neuronale et cette valeur (Colman, 2015, pp. 481-482). Par conséquent, les chercheurs croient que plus il y a de sang oxygéné dans une aire, plus cette aire participe ou est impliquée dans une tâche particulière.

[23] Le cerveau d'une larve de drosophile ne contient que 10 000 neurones (Cobb, 2020, p. 257).

[24] *EMD* est une abréviation de : *elementary motion detector*. Le modèle est souvent décrit tout simplement comme le détecteur de Reichardt (Basch, Cristea, Tiponut et autres, 2010, p. 192).

Nous avons vu au chapitre 2 que la rétine est recouverte de photorécepteurs spécialisés qui détectent un seul type d'information visuelle saillante (p. ex. la luminosité, l'orientation, etc.). Pour des raisons d'optimisation, l'information venant de chacune des cellules rétiniennes n'est pas traitée individuellement. Le champ visuel est subdivisé en une multitude de zones qui sont appelées des champs récepteurs (Wolfe *et al.*, 2019, p. 48). Ces champs peuvent être comparés aux alvéoles d'une ruche d'abeilles ou aux panneaux d'une mosaïque. D'après le modèle Hassenstein–Reichardt EMD, qui est illustré à la figure 4.4 et qui est décrit en détail par Wolfe *et al.* (2019, p. 247-248), un objet traversant le champ visuel de gauche à droite, active d'abord un premier neurone, « A ». Situé dans le cortex, « A » est responsable de détecter le mouvement qui va de gauche à droite dans un champ récepteur particulier. Ensuite, lorsque l'objet passe dans le champ récepteur situé à droite du premier, le mouvement active un neurone « B » qui, comme « A », est responsable de la détection des déplacements allant de gauche à droite. Les neurones A et B doivent acheminer les informations qu'ils ont captées à un troisième récepteur : « M » (fig. 4.4[1]). Le problème avec ce système simple est que la dimension temporelle d'un mouvement y est absente. Puisque A et B sont connectés directement à M, deux éléments distincts et immobiles qui sont présents au même moment dans les deux champs (fig. 4.4[2]) pourraient donc activer M (Wolfe *et al.*, 2019, p. 247). Puisque le mouvement est un changement de position dans le temps, l'information venant de A doit être retardée juste assez longtemps pour que B ait le temps de capter les informations (Park, W. J. et Tadin, 2018, p. 419). Pour percevoir le mouvement, il faut donc ajouter deux neurones au modèle Hassenstein-Reichardt EMD. Le neurone « D » doit être inséré entre A

Figure 4.4 : Le modèle Hassenstein-Reichardt EMD



La figure ci-dessus a été reproduite et légèrement modifiée à partir de Wolfe et al. (2019, p. 248).

et M pour retarder la transmission du signal. Le neurone « X » est placé entre D et M et entre B et M (voir fig. 4.4[3]) (Wolfe *et al.*, 2019, p. 247-248) pour déterminer si l'activation de B est vraiment causée par un déplacement ou par deux objets immobiles présents dans deux champs récepteurs adjacents (fig. 4.4[3]). Une autre particularité de la cellule D est qu'elle a un taux d'adaptation rapide. D est donc activé aussitôt que la cellule A lui envoie de l'information, mais elle s'éteint si l'objet reste à gauche. De cette manière, un objet immobile n'activera pas une détection de mouvement (fig. 4.4[4]). D'après le Hassenstein–Reichardt EMD, c'est à la suite de cette comparaison que le mouvement est perçu d'un champ récepteur à un autre (Park, W. J. et Tadin, 2018, p. 419). Puisqu'un déplacement de A à B est infime et ne couvre qu'une petite partie du champ visuel, l'information de X doit être envoyée à une cellule « maître » ou « M » qui collecte et assemble tous les petits déplacements pour former l'impression d'un seul mouvement continu (fig. 4.4[5]).

Figure 4.5 : Le brigadier

Image créée par l'auteur.

Une autre façon de visualiser le Hassenstein–Reichardt EMD est d'imaginer un brigadier scolaire qui doit chaque matin compter le nombre d'enfants qui traversent son intersection (voir fig. 4.5). Lorsqu'un enfant arrive au coin de son intersection, qui est dans notre exemple le champ récepteur associé au neurone A, le brigadier est immédiatement alerté (fig. 4.5.1). Il lève le panneau d'arrêt (cellule D) et attend (fig. 4.5.2). Dès que l'enfant arrive de l'autre côté de la rue (fig. 4.5.3), le brigadier confirme la traversée en activant un bouton (cellule X) – fig. 4.5.4). Puisque la sécurité des enfants est importante, un brigadier se trouve à chaque intersection du quartier (champ visuel). L'information de chacun des brigadiers est immédiatement acheminée à un superviseur (cellule M) qui est en mesure de traquer l'itinéraire de chaque enfant en temps réel (fig. 4.5.5).

Bien que le Hassenstein–Reichardt EMD est très certainement une version simplifiée d'un système encore plus complexe, il explique comment le mouvement apparent courte portée est perçu. De plus, il a « résisté à l'épreuve du temps » (Papathomas *et al.*, 2002, p. 488) et demeure l'assise des autres modèles existants (Wolfe *et al.*, 2019, p. 248). Puisque le

modèle est essentiellement une expression algorithmique de processus neurologiques, il est compatible avec une perspective computationnelle (Chi, 2016, p. S17). Park et Tadin décrivent succinctement d'autres systèmes basés sur ce modèle (2018, p. 418). Malgré sa robustesse et son influence, le modèle n'est pas parfait. Une des critiques portées à son égard est le fait qu'un objet n'est pas obligé de se déplacer de manière fluide pour créer l'impression de mouvement (Park, W. J. et Tadin, 2018, p. 420; Wolfe *et al.*, 2019, p. 248-249). Une série d'images fixes apparaissant successivement dans une suite de champs récepteurs accolés peut ainsi créer l'impression d'un mouvement. Évidemment, le fait que ce système peut être trompé de cette manière n'est pas une lacune, mais revêt une importance singulière pour le cinéma et l'animation, car, en plus d'expliquer la perception du mouvement réel, le Hassenstein–Reichardt EMD révèle pourquoi nous sommes en mesure de percevoir du mouvement filmique fluide et réaliste. Pour la science, par contre, le modèle soulève d'autres questions et problèmes qu'il faut résoudre.

4.5.1 Les problèmes de la correspondance et de l'ouverture

Comment le système visuel traite-t-il efficacement et rapidement une scène réelle qui est composée de multiples éléments complexes et dynamique ? Pour déterminer si quelque chose est en mouvement (fig. 4.6.1), le système perceptuel doit ainsi pouvoir déterminer si un objet ou un élément qui est perçu à un moment 1 est le même objet qui est perçu à un moment 2 (fig. 4.6.2) (Jenkin et Kolers, 1988, p. 269; Schwartz, Bennett Lowell et Krantz, 2019, p. 231; Wolfe *et al.*, 2019, p. 250). Les questions et les défis associés à ce processus complexe s'appellent le « problème de la correspondance [25] » (Jenkin et Kolers, 1988, p. 272; Papathomas *et al.*, 2002, p. 487). La correspondance soulève une suite de questions importantes. Premièrement,

Figure 4.6 : La correspondance

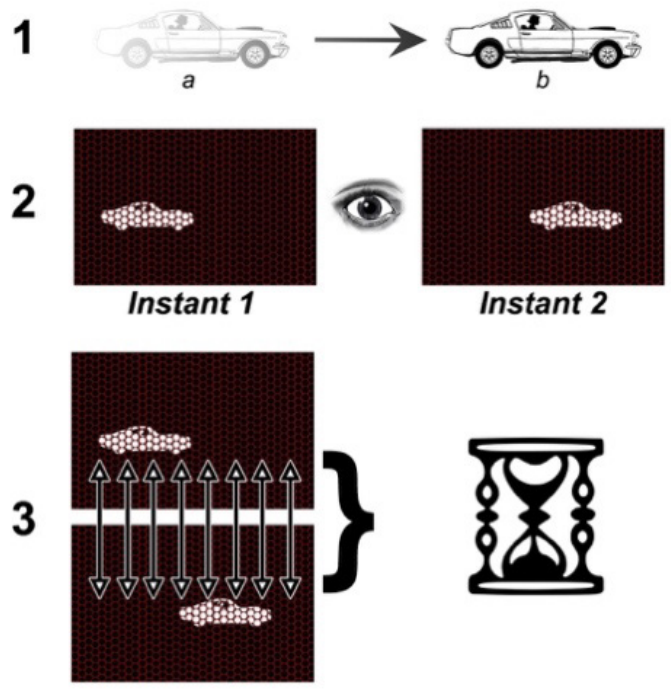


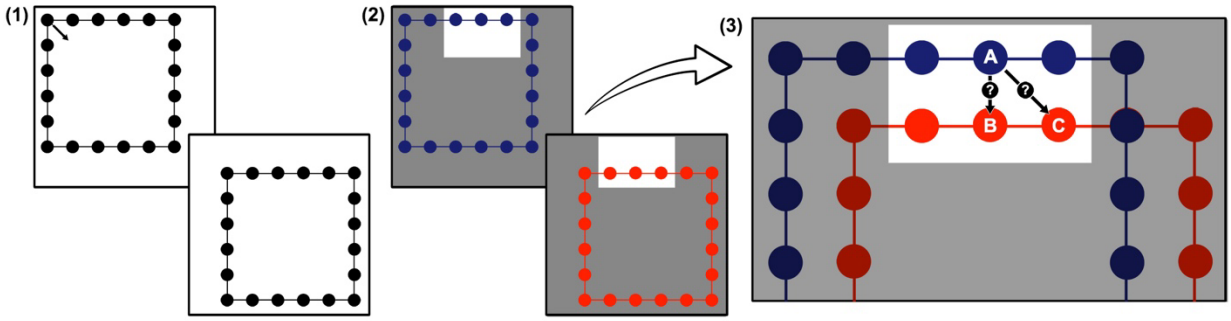
Image créée par l'auteur.

[25] Le problème de la correspondance a été formulé par Oliver Braddick et Bela Julesz, tous deux travaillant avec le AT&T Bell Laboratories (Ramachandran et Anstis, 1986, p. 102).

comment est-ce que la correspondance est en mesure d'opérer aussi rapidement sans se tromper ? Après tout, la tâche est énorme, car chaque point du champ visuel à un instant 1 contient une quantité importante d'informations diverses (la position et la luminosité, par exemple) que le système perceptuel doit comparer et faire concorder à chaque point du champ visuel à un instant 2 (fig. 4.6.3). Et si cela ne compliquait pas assez les choses, la correspondance doit opérer en temps réel pour des raisons de survie.

Le problème de la correspondance est associé à un deuxième problème potentiel qui apparaît dans la manière dont le Hassenstein–Reichardt EMD peut mésinterpréter la direction d'un mouvement apparent. Rappelons que, d'après ce modèle, le mouvement qui est perçu résulte de l'assemblage de tous les petits mouvements qui vont d'un champ récepteur à un autre. Puisque chaque champ récepteur ne traite qu'un fragment de la scène, la direction d'un mouvement peut être ambiguë. Il s'agit du problème de l'ouverture [26] (Park, W. J. et Tadin, 2018, p. 424; Wolfe *et al.*, 2019, p. 250), qui est illustré à la figure 4.7.

Figure 4.7 : le problème de la correspondance



Un objet se déplaçant vers le bas et vers la droite [fig. 4.7(1)] peut, lorsqu'il est vu à travers la petite ouverture du champ récepteur [fig. 4.7(2)], occasionner deux percepts conflictuels [fig. 4.7(3)]. Par conséquent, le cercle bleu ne se déplace pas de A à C, mais se déplace directement vers le bas de A à B [fig. 4.7(3)]. L'effet est illustré au lien suivant : https://youtu.be/HjGlvzBlFTc. Cette figure est réalisée par l'auteur à partir des modèles illustrés dans Schwartz et Krantz (2019, p. 231) et dans Wolfe *et al.* (2019, p. 250).

Le problème de l'ouverture n'est pas limité aux animations utilisant deux stimuli. Il peut aussi provoquer de faux percepts quand le mouvement est plus naturel. Goldstein et Cacciamani (2022, p. 187) décrivent notamment comment le mouvement d'un crayon bougeant en diagonale peut être perçu comme bougeant à l'horizontale lorsqu'il est vu à travers une petite ouverture. Le problème de l'ouverture disparaît cependant lorsque nous voyons à nouveau l'ensemble de la scène et le bout du crayon en particulier. Nous avons recréé l'effet ici : https://youtu.be/2B47lYQFx0M. Pour résoudre le problème de

[26] Le problème de l'ouverture est appelé *aperture problem* en anglais.

l'ouverture, le système perceptuel peut, à l'aide de neurones situés dans le V1, déterminer la direction d'un percept ambigu en se référant aux extrémités des choses (p. ex. le bout d'une ligne). Ces neurones sont appelés *end-stopped V1 neurons* (Goldstein et Cacciamani, 2022, p. 187-188; Pack *et al.*, 2003, p. 677). Nous verrons au sein du prochain chapitre que ce mécanisme peut expliquer non seulement l'ondulation apparente d'un crayon lorsque nous l'agitons entre les doigts (Macknik *et al.*, 2010, p. 40-41), mais aussi pourquoi la déformation d'objets et de lignes droites est si importante en animation. Le fait que les problèmes associés à l'ouverture sont résolus presque automatiquement lorsque nous voyons toute la scène indique que le système perceptuel possède des mécanismes qui ont « une vue d'ensemble » (Park, W. J. et Tadin, 2018, p. 424-425). Effectivement, puisqu'il y a encore des problèmes de percepts conflictuels au niveau du V1, les informations sont acheminées au V5 ou le hMT+[27], où un système traite le mouvement de manière globale (Park, W. J. et Tadin, 2018, p. 426-427; Wolfe *et al.*, 2019, p. 251-252).

Pour percevoir un objet en mouvement, la perception doit ainsi être munie d'un système traitant le mouvement au niveau local et d'un système qui traite le mouvement de manière globale[28]. Puisque la perception doit savoir quels éléments visuels dans une scène doivent être combinés et quels éléments doivent être traités séparément, il existe également deux autres systèmes fondamentaux qui opèrent de manière indépendante. Il s'agit de 1) l'intégration du mouvement (*motion integration*) et 2) la segmentation du mouvement (*motion segmentation*) (Braddick, 1993). Comme leur nom l'indique, le rôle de l'intégration du mouvement est de déterminer quels éléments détectés localement appartiennent à la même entité ou surface. À l'inverse, le rôle de la segmentation du mouvement est d'établir quels éléments doivent être traités comme appartenant à des surfaces ou entités distinctes (Park, W. J. et Tadin, 2018, p. 428). De manière générale, ces différents systèmes ne concernent pas l'animatrice, car ils opèrent automatiquement. Il faut néanmoins faire attention lorsque nous employons des motifs, tels le plaid écossais et le grillage, car ces derniers causent des problèmes conflictuels entre l'intégration et la segmentation (Hupé et Rubin, 2004). Bien que les procédés régissant la perception du mouvement global soient trop complexes pour être présentés succinctement dans ce travail, il est possible d'identifier un

[27] Le hMT+ est l'abréviation de « human extrastriate cortical region, middle temporal complex » (Ricciardi *et al.*, 2007, p. 2933).

[28] Les chercheurs emploient parfois la parabole indienne des trois hommes aveugles et de l'éléphant pour illustrer le fait que certains phénomènes perceptuels opèrent de manière discrète et n'ont pas une vue d'ensemble. Dans la version contée par Anjan Chatterjee dans *The Aesthetic Brain: How We Evolved to Desire Beauty and Enjoy Art* (2014), trois hommes aveugles doivent identifier un éléphant, mais ne peuvent toucher qu'à une seule partie de son corps. Le premier homme touche sa patte et croit que c'est un pilier. Le deuxième touche le dos de l'animal et croit que c'est un mur. Le troisième touche la trompe et croit que c'est un javelot (p. 121).

principe général qui gouverne la perception, ainsi qu'un ensemble d'astuces simples employées par l'animateur et par le système perceptuel pour traiter le mouvement de manière générale.

4.6 Les axiomes du mouvement apparent

Si un mouvement apparent simple, perçu à travers l'ouverture étroite d'un champ récepteur, peut causer une ambiguïté quant à la direction réelle du mouvement (le problème de l'ouverture), comment le système visuel traite-t-il efficacement et rapidement une scène réelle qui est composée de multiples éléments complexes et dynamiques (le problème de la correspondance) ? Anstis et Ramachandran essayent de répondre à cette question dans « The Perception of Apparent Motion » (1986). Avant de décrire cet article influent[29], il faut préciser que peu de chercheurs ont tenté depuis les gestaltistes de décrire les caractéristiques fondamentales de la perception et de formuler des règles perceptuelles concises[30]. Donc, même si la science a progressé depuis sa publication et que certains concepts, tels le *motion integration* et le *motion segmentation*, ne sont pas mentionnés, l'article demeure, 35 ans plus tard, un véritable trésor de règles, de phénomènes et d'explications. De surcroît, nous croyons que ces règles ne sont rien de moins que les axiomes du mouvement apparent.

Ramachandran et Anstis (1986, p. 102) commencent leur article en décrivant les problèmes associés à la correspondance. Puisqu'un danger doit être perçu rapidement, ils croient que le système perceptuel emploie un ensemble d'astuces pour accélérer et optimiser le processus. Les auteurs insistent sur le fait que ces règles ne sont donc pas des lois absolues. Elles sont plutôt des stratégies approximatives, des raccourcis visuels[31], qu'ils décrivent comme un *bag of tricks* (p. 102). D'après ces chercheurs, la perception n'est pas un processus omniscient et infaillible, mais opère plutôt à partir de paramètres qui ont une certaine marge de manœuvre. Avant d'énoncer et de décrire ces règles, il est important d'expliquer pourquoi la perception doit être tolérante et employer des règles approximatives.

[29] En date du 2 août 2022, le texte est cité dans 285 articles selon le site Google Scholar.

[30] Rappelons que la complexité du système visuel humain a dissuadé les chercheurs d'essayer de former de grandes théories de la perception. Les chercheurs préfèrent donc étudier des phénomènes isolés dans des organismes plus simples. Le modèle Hassenstein–Reichardt EMD exemplifie cette approche.

[31] Nous verrons au chapitre 7 que ces astuces visuelles sont différentes des stratégies suggérées par les tenants de la perspective computationnelle, car les premières sont approximatives alors que les deuxièmes fonctionnent à partir d'une analyse statistique bayésienne.

4.6.1 La tolérance catégorique

Puisque notre environnement est dynamique et potentiellement dangereux, les mécanismes perceptuels doivent pouvoir détecter et interpréter correctement et rapidement toutes les sensations que nous percevons. À moins de participer à une expérience scientifique où les stimuli sont limités, la difficulté de cette tâche cruciale et complexe est exacerbée par le fait que les sensations perçues dans un environnement naturel sont souvent incomplètes et correspondent rarement à un idéal perceptuel. Puisque ces sensations partielles et ambiguës varient selon l'environnement, l'individu et la situation dans laquelle ce dernier se trouve, la perception doit être tolérante et permissive. Cette tolérance est cruciale, car si la perception opérait comme un juge intransigeant qui exige le respect absolu de certaines lois immuables avant de rendre son verdict, nous serions incapables de traiter rapidement les informations partielles, incongrues et conflictuelles à notre disposition. Ainsi paralysés, nous risquerions de nous faire dévorer par un prédateur. Il est donc logique et impératif pour notre survie que le système perceptuel n'opère pas à l'aide de lois absolues, mais utilise plutôt des règles approximatives et tolérantes. Voilà pourquoi Ramachandran et Anstis décrivent les méthodes et astuces employées par le système perceptuel comme un « bag of tricks » (1986, p. 102).

Pour faire valoir ce point, Richard Gregory compare la perception au fonctionnement d'une serrure. Pour qu'une clé puisse ouvrir une porte, Gregory explique que le système doit faire preuve d'une certaine tolérance sans quoi la moindre imperfection dans la clé ou dans le mécanisme empêcherait le système de fonctionner. La nature imprévisible et imparfaite de la réalité que nous percevons nécessite aussi une forme de tolérance, car, sans celle-ci, la perception cesserait de fonctionner et un bris dans le système pourrait être dangereux (Gregory, 2015 [1997], p. 118). Évidemment, puisque la perception opère avec un certain degré de tolérance, elle peut être trompée par des illusions visuelles, comme celle du mouvement apparent. Il ne faut cependant pas concevoir la crédulité du système perceptuel comme étant une vulnérabilité. Au contraire, il est plus prudent pour le système perceptuel d'être hypersensible au mouvement et d'être alerté par un mouvement soudain, peu importe sa nature, que d'ignorer le signal et d'être dévoré. Le fait que les membres de notre espèce soient en mesure de percevoir un mouvement suggère que les avantages évolutifs associés à une hypersensibilité aux mouvements dépassent les coûts d'être occasionnellement trompés par un mouvement artificiel. Le système perceptuel, qui est plus prudent, plus tolérant, suit ainsi la maxime « Il vaut mieux prévenir que guérir ». Il est donc beaucoup moins risqué d'être alerté par un mouvement se révélant inoffensif (p. ex. une feuille au vent ou un écureuil) que d'ignorer ledit mouvement et d'être dévoré. En ce qui concerne le mouvement animé, nous

pourrions dire qu'il est beaucoup moins risqué d'être diverti par la Panthère rose que d'être mangé par une vraie panthère. En fait, nous verrons prochainement qu'il est fort probable que la perception du mouvement apparent soit plus qu'un simple caprice visuel, car elle aurait une fonction évolutive importante.

Bien que le système visuel soit tolérant, il est important de souligner que la perception ne supporte pas l'ambiguïté quand vient le temps de décider ce qui est perçu. Pour des raisons de survie, le système ne peut pas nous fournir un percept ambigu, car l'indécision que celui-ci causerait pourrait être fatale.

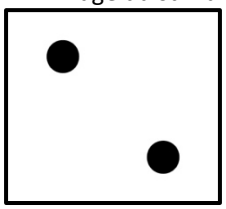
> If the system were designed so that some slippage occurred between reality and perception, or if conflicting information were averaged or compromised, then every act would be based on inaccurate information. This would not be an effective strategy for survival. The odds are much better if the system picks one set of information to act upon. (Anderson, J. D., 1998, p. 45-46)

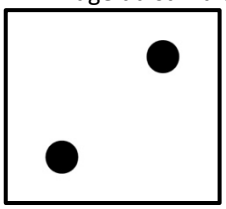
Lorsque le système utilise ses règles approximatives pour décider de l'interprétation qui sera perçue, nous ne voyons pas les autres possibilités ou même une moyenne des perceptions potentielles. Nous ne voyons qu'une seule chose à la fois pour que nous puissions agir rapidement. Anderson décrit cette stratégie comme étant celle du *winner-takes-all* (p. 44-46). Pour revenir à l'analogie du juge, ce dernier, comme la perception, est tolérant quand il écoute les plaidoyers, mais son verdict (percept) est sans équivoque. Il faut néanmoins noter que le verdict ou le percept n'est pas irrévocable. En fait, le verdict peut être renversé d'un instant à l'autre, aussitôt que de nouvelles informations visuelles sont disponibles. Ce revirement est essentiel, car nous devons pouvoir nous adapter et réagir rapidement à l'environnement dynamique.

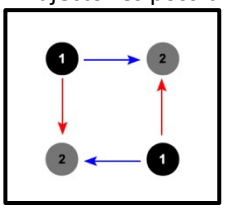
La perception et les règles qu'elle emploit font donc preuve d'une tolérance catégorique. **La règle perceptuelle de la tolérance catégorique** peut expliquer le fonctionnement de certaines illusions visuelles où nous ne pouvons voir qu'une seule chose à la fois. Par exemple, dans le cas de l'illusion du vase-visage de Rubin (voir fig. 1.4), nous ne voyons que le vase ou le visage (Anderson, J. D., 1998, p. 45; Ramachandran et Anstis, 1986, p. 105). La règle de la tolérance catégorique s'applique aussi à la perception du mouvement apparent. Ramachandran et Anstis démontrent ceci dans une expérience illustrée à la figure 4.8 (1986, p. 106).

Figure 4.8 : Expérience nº 1– Un percept à la fois

A – 1re image du stimulus B – 2e image du stimulus C – Trajectoires possibles Référence vidéo







https://youtu.be/plWIlUly5Ak

Dans cette animation, composée de deux images (fig. 4.8A et 4.8C), deux cercles peuvent se déplacer horizontalement (flèches bleues [4.8C]) ou verticalement (flèches rouges [4.8C]). Puisqu'il est impossible de voir plus d'un percept à la fois et que les deux options perceptuelles sont statistiquement équivalentes (50/50), l'observateur voit soit un mouvement apparent horizontal ou un mouvement apparent vertical. Il ne verra jamais une moyenne ou une fusion des deux mouvements. La vidéo qui accompagne la figure illustre l'effet et démontre qu'il est possible de changer l'orientation du mouvement en cachant une partie de l'écran. Nous reviendrons dans le prochain chapitre sur le fait que la perception, malgré sa tolérance, ne supporte pas l'ambiguïté, car cette caractéristique explique pourquoi certains mouvements animés ne fonctionnent pas.

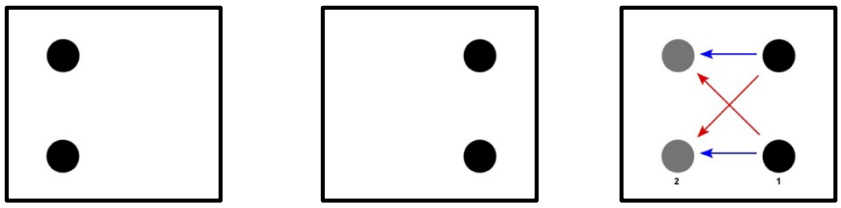
4.6.2 Les règles de la réalité et le 1er axiome du mouvement apparent

Puisque notre système visuel a évolué pour que nos ancêtres puissent survivre et se reproduire dans un environnement naturel, la perception est le produit de cet environnement. Puisque la perception est essentiellement une machine à interpréter la réalité, il est logique de proposer qu'elle utilise comme guide les mêmes lois fondamentales qui gouvernent notre univers (Ramachandran et Anstis, 1986, p. 105). D'après cette hypothèse, les règles fondamentales de la perception imitent les caractéristiques fondamentales de la réalité. Ceci implique que la perception présuppose que nous vivons dans une réalité ordonnée. Bien que cette assertion semble évidente, il est essentiel de la mentionner, car si le monde était chaotique, il n'y aurait tout simplement pas de règles générales à suivre ou à respecter. Dans un tel environnement anarchique, la perception serait incapable de prédire ou même de donner un sens à ce qui est perçu, car chaque stimulus serait aléatoire et imprévisible. En revanche, puisque le système visuel a été forgé par notre environnement ordonné, les propriétés fondamentales de la réalité sont les assises de la perception. Quelles sont donc les propriétés fondamentales de la réalité ?

Puisque la réalité est ordonnée, la perception présume d'abord que la matière est solide et cohérente[32]. Et étant donné que la matière n'est pas amorphe et qu'elle maintient sa forme, il y a peu de chance que les composantes d'une chose se détachent soudainement et aillent dans des directions différentes lorsque celle-ci est en mouvement. Puisqu'un objet maintient sa trajectoire lorsqu'il se déplace, le système perceptuel peut présumer qu'un objet n'empruntera pas de détour sur de petites distances lorsque les délais temporels sont courts et qu'il n'y a aucun obstacle. Par conséquent, le premier axiome du mouvement apparent est qu'un objet se déplace en suivant la trajectoire[33] la plus courte (1986, p. 105)[34]. Cette règle, qui est représentée à la figure 4.9, est parfois appelée « the shortest possible path constraint » en anglais (Shiffrar et Freyd, 1990, 1993). L'emploi de *constraint* est significatif, car le mot[35] met en lumière le fait que cette règle limite les choix perceptuels. Puisque la « contrainte du parcours le plus court [36]» élimine le nombre d'options perceptuelles, le processus de la correspondance est facilité. En fait, nous verrons dans les prochaines pages que la plupart des stratégies et règles qui optimisent le processus de la correspondance visent à éliminer les possibilités perceptuelles.

Figure 4.9 : Expérience n^{o} 2– Le parcours le plus court

A – 1re image du stimulus B – 2^{e} image du stimulus C – Trajectoires possibles Référence vidéo



https://youtu.be/DqsAYEIg45o

L'expérience réalisée par Ramachandran et Anstis (1986, p. 104) démontre qu'un objet emprunte toujours le parcours le plus court dans un mouvement apparent. Par conséquent, un mouvement horizontal entre les deux images sera perçu (flèches bleues à l'image 4.10C), plutôt que de voir un mouvement diagonal qui ferait que les points s'entrecroisent (flèches rouges).

[32] Bien qu'Anstis et Ramachadran décrivent la matière comme étant fondamentalement rigide (*rigidity*), nous privilégierons les termes « cohérence » ou « solidité », car la matière est malléable en animation et ce manque de rigidité ne semble pas causer de problème au niveau perceptuel. Au contraire, la malléabilité de la forme ajoute énormément de fluidité à un mouvement animé et peut contribuer à son attrait (voir chapitre 5 et 6).

[33] Il faut préciser que le mouvement apparent le plus court sera toujours linéaire, car la distance la plus courte entre deux points est une ligne droite.

[34] Ramachandran et Anstis remarquent que cette première loi du mouvement apparent est similaire à la première loi du mouvement de Newton (p. 105) qui dicte que : « Tout objet conserve son état de repos ou sa vitesse uniforme (mouvement rectiligne à vitesse constante) si aucune force ne lui est appliquée » (Cassidy et autres, 2015, p. 115).

[35] *Constraint* : « A situation or rule that prevents certain choices or actions » (Antidote, 2022f).

[36] La « contrainte de la trajectoire la plus courte » est probablement une traduction plus exacte, mais le fait de rimer « parcours » avec « court » rend l'axiome plus mémorable.

Comme nous l'avons mentionné, les chercheurs attribuent le fait qu'un objet emprunte toujours le parcours le plus court à la solidité ou à la cohérence de la matière. Cette explication semble cependant insatisfaisante. Après tout, même si la matière est solide et ne se désagrège pas en se déplaçant, pourquoi supposons-nous qu'elle n'a pas pris un détour en cours de route ? Évidemment, il suffit d'observer un mouvement apparent (p. ex. vidéo accompagnant la fig. 4.9) pour corroborer la loi du parcours le plus court, parce qu'il est indéniable que les cercles bougent en ligne droite. Cette constatation est manifeste, car « lorsque la perception de mouvement se déclenche, elle s'impose avec évidence » (Piéron, 1933, p. 246)[37]. Mais illustrer la règle ne l'explique pas nécessairement, et la question demeure : pourquoi un objet doit-il inévitablement prendre le chemin le plus court ?

La réponse à cette question réside dans la nature de la réalité, car, dans notre univers, le premier axiome du mouvement de Newton stipule que tout corps en mouvement se déplace en ligne droite « à moins que son état ne soit modifié par l'action des forces qui lui sont appliquées »[38] (Sherwood et Sutton, 1990, p. 14). Puisque cette loi est universelle, elle s'applique autant aux photons de la lumière qui voyagent en ligne droite[39] (Cassidy *et al.*, 2015, p. 363; Fara, 2015, p. 4; Newton, 2016 [1730], p. 317-318) qu'à la perception du mouvement apparent. La règle du parcours le plus court devient ainsi le premier axiome du mouvement animé. La linéarité du mouvement apparent nécessite cependant la précision suivante. En parlant de trajectoire ou de parcours linéaire, il est suggéré que nous percevons du mouvement de la même façon que nous tentons de résoudre un problème géométrique à l'aide d'une règle et d'un tableau noir. Mais cette analogie est fausse, car la perception du mouvement n'est pas un calcul mathématique ou un processus mnésique (voir section 4.1), mais résulte plutôt des procédés électrochimiques qui opèrent au niveau du champ récepteur et du cerveau. La nature linéaire des mouvements apparents soulève une dernière question qui peut être facilement réglée. Il est clair que le mouvement apparent de longue portée est linéaire, parce que l'objet en mouvement se déplace en sautant d'une position à une autre en empruntant le parcours le plus court, mais qu'en est-il du mouvement de courte portée ? Si les parcours du mouvement apparent sont toujours linéaires, comment se fait-il que nous puissions voir des trajectoires courbées d'un mouvement apparent de courte portée ? La réponse à cette question est que

[37] Bien que Henri Piéron fasse cette remarque en parlant de « l'attitude perceptive », celle-ci décrit parfaitement comment une trajectoire linéaire et n'importe quel percept s'imposent. Au risque de penser que nous citons Piéron hors contexte, il faut préciser que l'article, qui est intitulé « II. Remarques sur la perception du mouvement apparent », porte notamment sur les études de Wertheimer.

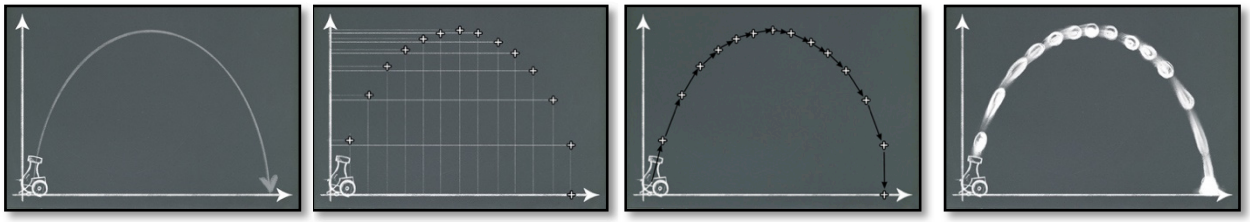
[38] La première loi de Newton dicte aussi qu'un objet au repos reste au repos « à moins que son état ne soit modifié par l'action des forces qui lui sont appliquées » (Sherwood et Sutton, 1990, p. 14).

[39] Voilà pourquoi nous parlons de rayons ou de faisceaux lumineux.

nous pouvons inférer une trajectoire courbée à partir d'une série de petites lignes droites. Par exemple, dans l'animation des images représentées à la figure 4.10, nous voyons la trajectoire arquée du projectile (fig. 4.10a) même si le déplacement d'un intervalle à l'autre (fig. 4.10b) est linéaire (fig. 4.10c). Il faut cependant noter que les traînées ajoutées à chaque intervalle (fig. 4.10d) aident à communiquer l'impression d'une trajectoire parabolique. Nous reviendrons sur ce type d'astuces, ainsi qu'aux lois de Newton, aux chapitres suivants.

Figure 4.10 : Trajectoire arquée et déplacement linéaire

a. Trajectoire b. Points de repère c. Lignes droites d. Mouvement final



Le mouvement arqué peut être observé à la vidéo suivante : https://youtu.be/hEfROO29OsU. Images et vidéo créées par l'auteur.

Il faudra également revenir sur l'importance des trajectoires courbées au chapitre 6, car un mouvement effectué par un être vivant n'est pas perçu de la même façon que le mouvement d'un objet inanimé. Nous verrons notamment que la contrainte du parcours le plus court n'est pas toujours respectée lorsque le mouvement est effectué par un être vivant (animé).

4.6.3 Le regroupement et le 2e axiome du mouvement apparent

Jusqu'à présent, nous avons vu que la perception emploie un ensemble de stratégies qui sont tolérantes et catégoriques. Le premier axiome du mouvement apparent est qu'un objet emprunte toujours le parcours le plus court. La deuxième stratégie est de détecter et de regrouper des éléments similaires et saillants dans l'environnement et de les traiter en lots. La perception tente donc de regrouper : 1) les basses fréquences spatiales[40], 2) les textures similaires et 3) les choses qui bougent ensemble. En créant ces regroupements, le

Figure 4.11 : Contours et fréquences spatiales basses

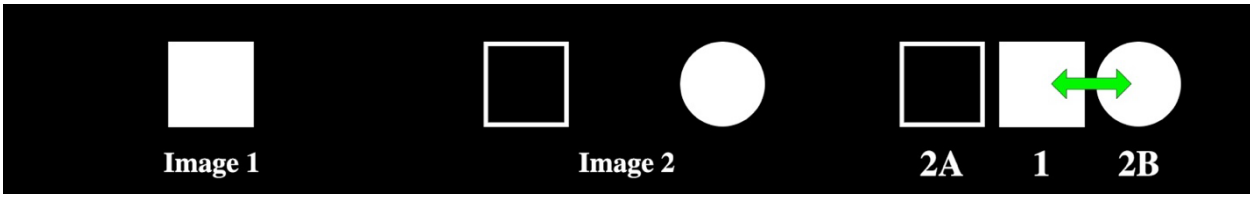
Image créée par l'auteur.

[40] Alors que les fréquences hautes sont associées aux détails d'une image, les fréquences spatiales basses représentent les zones contrastées, c'est-à-dire les parties les plus lumineuses et les espaces les plus foncés (voir chap. 2).

système gagne du temps précieux, car au lieu de traquer, calculer et prédire la trajectoire d'une dizaine de choses similaires, il n'a qu'à traquer une seule chose collective (Ramachandran et Anstis, 1986, p. 103). Par ordre de priorité, il semble que le système commence par identifier et regrouper des zones ayant la même luminosité[41]. Cette astuce permet de détecter les contours des choses dans l'environnement (personne, objet, animal, etc.), car un contour délimite généralement une forme créée à l'intersection d'une zone foncée et d'une zone claire (voir fig. 4.11). Puisque les masses d'ombres et de lumière sont transmises dans les fréquences spatiales basses, celles-ci jouent un rôle plus important dans la perception d'un mouvement que les zones de hautes fréquences spatiales qui représentent les détails visuels et les petits objets (voir chap. 2). Il est ainsi plus probable que nous détections une masse obscure se déplaçant dans une forêt que nous percevions le contour d'un seul arbre se balançant au gré d'une brise (Ramachandran et Anstis, 1986, p. 104). Pour démontrer que la perception du mouvement privilégie la perception des zones ayant la même luminosité et plus particulièrement les fréquences spatiales basses, Ramachandran et Anstis effectuent l'expérience illustrée à la figure 4.12.

Figure 4.12 : Expérience n° 3–Mouvement et fréquence spatiale basse

A – 1re image du stimulus B – 2e image du stimulus C – Résultat : mouvement de 1 à 2B



Images et vidéo créées par l'auteur.

Les chercheurs présentent successivement l'image 1 (fig. 4.12a) et l'image 2 (fig. 4.12b) à des participants. Ces derniers doivent dire s'ils voient le carré blanc se déplacer vers le cercle blanc à sa droite (de 1 à 2B, fig. 4.12c) ou s'ils aperçoivent le carré blanc se diriger vers le carré noir au contour blanc (de 1 à 2A, fig. 4.12c). Puisque les participants observent généralement un mouvement allant du carré au cercle et que ces deux zones blanches n'ont pas la même forme, Ramachandran et Anstis croient que nous avons plutôt tendance à traquer les fréquences spatiales basses dans un mouvement rapide, plutôt que de suivre la ligne de contour d'un objet (1986, p. 105). Comme l'effet se décrit difficilement en mots, nous avons recréé l'expérience ici : https://youtu.be/E4xTg1NTcxI. Ce phénomène suggère aussi que la silhouette est souvent plus importante que la ligne de contour en animation (voir chap. 2). En ce qui concerne le mouvement, il est donc plus important de bien animer la forme que d'animer la ligne.

[41] Rappelons que la voie dorsale, qui est responsable de la détection du mouvement, est associée aux bâtonnets, qui sont sensibles à la luminosité (voir chapitre 2).

Certaines séries animées, dont *Samurai Jack* (Tartakovsky et Lazzo, 2001-2004), exploitent la force perceptuelle de la forme en mettant en scène des personnages qui n'ont pas de ligne de contour. Ce choix est audacieux, car la ligne de contour est une des conventions visuelles typiquement associées au *cartoon*.

La cohérence de la matière fait aussi en sorte que la perception présuppose que tous les points d'un objet en mouvement se déplacent en synchronie. Par conséquent, le système perceptuel cherche à détecter et rassembler des textures similaires dans l'environnement (1986, p. 104-106), probablement parce qu'un animal a une texture uniforme (p. ex. taches de léopard, plumage, fourrure, etc. – voir fig. 4.13) et que la texture nous aide à différencier l'animé de l'inanimé (Opfer et Gelman, 2011, p. 217). Donc, au lieu de traquer chacune des taches d'un pelage de léopard, il est plus économe pour le système perceptuel de postuler que toutes les taches similaires appartiennent au même animal (Ramachandran et Anstis, 1986, p. 106).

Figure 4.13 : Texture, nature et mouvement

Les photos du pelage de léopard et des plumes de paon ont été prises par Ehlers (2018a, 2018b). La photo du pelage de zèbre est de Pixabay (2016). L'image de l'écorce a été photographiée par l'auteur.

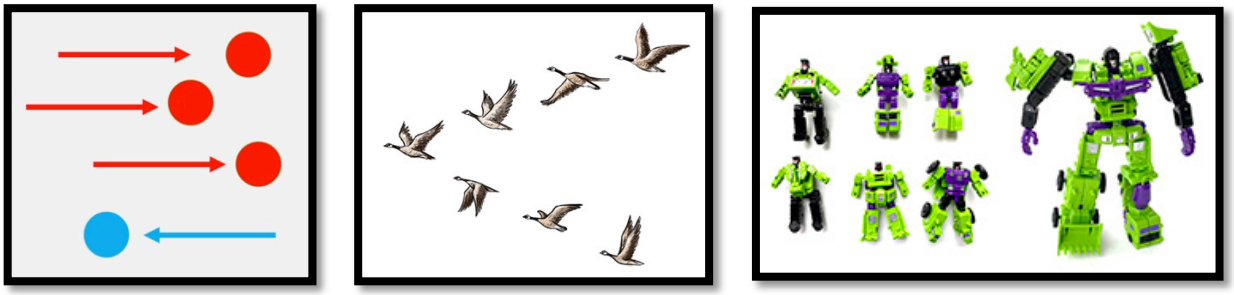
Finalement, le système visuel a tendance à regrouper les mouvements similaires (Ramachandran et Anstis, 1986, p. 109). Décrit pour la première fois par le psychologue belge Albert Michotte van den Berck (1881-1965)[42], ce phénomène s'apparente à « l'effet d'entraînement » (ou *entrained motion*, en anglais) (Michotte, 2017 [1963], p. 21). Ramachandran et Anstis (1986) le décrivent ainsi : « motion in one part of the field caused the viewer to see the identical axis of motion in all other parts of the visual field » (p. 109). Cette description peut sembler abstraite, mais il suffit de regarder une foule, un essaim d'insectes ou une

[42] Les études de Michotte seront présentées au chapitre 6, car elles expliquent les règles perceptuelles fondamentales qu'une animatrice doit respecter pour créer l'impression qu'un mouvement ou une action a causé le mouvement d'une autre chose.

formation d'oies migrant vers le sud en forme de « V » pour voir l'effet d'entraînement en action (voir fig. 4.14b).

Figure 4.14 : Qui se ressemble bouge ensemble

(a) Cercles en mouvement (b) Formation d'oies (c) Volcanicus



L'image 14.4c, qui a été créée par l'auteur, illustre le fait que les unités discrètes (petits robots) d'une entité collective (Volcanicus) sont supplantées par l'unité collective créée par la Gestalt ou l'entraînement. Les figures 4.14a et 4.14b ont été créées par l'auteur.

Pour notre système visuel, les choses se déplaçant collectivement perdent leur identité comme entités discrètes. Puisqu'elles se « perdent dans la foule », nous cessons de voir leurs mouvements individuels et nous percevons seulement le mouvement du groupe. Le processus de la correspondance est ainsi facilité, car la perception n'a pas à calculer et à prédire la trajectoire de chacune des entités dans une scène, mais n'a qu'à traquer le mouvement de l'entité collective ou d'une Gestalt. Le film suivant https://youtu.be/4GG83jLRqb4, montrant des pigeons en train de voler, démontre que l'effet d'entraînement est un processus dynamique et fluide qui peut changer selon les stimuli et les circonstances. Il peut être activé et désactivé selon le degré de coordination des objets. Un certain nombre d'oiseaux doivent d'abord voler ensemble avant que la perception décide de les voir se déplacer ensemble, car une forme de consensus directionnel doit en quelque sorte être atteinte avant que le mouvement devienne global. De plus, cette impression d'unité est fragile, car il suffit que quelques individus brisent la formation pour que l'impression de mouvement collectif soit perdue. La perception est donc en mesure de regrouper des mouvements discrets pour former une impression de mouvement global. Il faut aussi préciser que le processus n'est pas instantané, car il y a, d'après nos observations, une courte période de transition durant laquelle nous ne savons pas quoi regarder. Les cercles rouges de l'image 4.14a sont perçus ensemble, car ils bougent tous vers la droite, alors que le cercle bleu est exclu du groupe parce qu'il bouge dans la direction opposée. La formation d'oies (image 4.14b) illustre parfaitement l'effet d'entraînement, car la formation en « V » des oiseaux s'impose presque automatiquement comme le percept dominant. L'effet d'entraînement est étroitement lié à la théorie holistique de la Gestalt (chap. 2) qui, en plus du mouvement, emploie d'autres repères visuels, dont la similarité et la proximité, pour

regrouper des éléments dans le champ visuel (Wolfe *et al.*, 2019, p. 107-109). Puisque le processus de la correspondance est optimisé par un regroupement d'informations visuelles similaires, dont le mouvement, la texture et les fréquences spatiales basses, nous proposons que le deuxième axiome du mouvement apparent soit : « qui se ressemble bouge ensemble »[43].

4.6.4 La permanence et le mouvement apparent

Après la cohérence (rigidité), la deuxième caractéristique fondamentale de la matière est qu'elle est permanente. Par permanence, nous voulons dire que la matière ne disparaît pas soudainement – elle persiste[44] et perdure. Encore une fois, cette propriété est tellement fondamentale et évidente qu'il est étrange de devoir la mentionner. Il est néanmoins important de le faire, car la permanence de la matière est un postulat qui façonne comment les événements dans notre environnement sont interprétés. Par exemple, lorsqu'un animal disparaît soudainement du champ visuel, notre premier instinct n'est pas de croire qu'il a cessé d'exister. Puisque la matière est permanente et solide, nous croyons plutôt que l'animal est caché[45]. Cette supposition serait encore plus plausible si un objet solide dans le champ visuel bloquait notre vue de la créature. Décrit au chapitre 2, ce phénomène perceptuel important, appelé *occlusion* en anglais, désigne le fait qu'un objet près d'un observateur cache, partiellement ou complètement, un second objet qui est plus éloigné (Sekuler et Blake, 2006, p. 2006). La notion de l'occlusion est acquise durant les premiers mois de notre développement. Une étude scientifique menée par Kochukhova et Gredebäck (2007) démontre que les nourrissons de 6 mois ont une bonne compréhension des contraintes physiques de base qui régissent le mouvement d'objets. Ils sont conscients du phénomène de l'occlusion et utilisent leurs expériences perceptuelles, dont l'occlusion, pour prédire la trajectoire d'objets lorsqu'ils sont exposés à des situations perceptuelles, nouvelles et inusitées (p. 44).

[43] Cet axiome est une variation de l'adage : « qui se ressemble s'assemble ». Cette maxime pourrait servir de règle perceptuelle, car elle est représentative de la théorie de la Gestalt. Nous avons néanmoins choisi de la modifier pour souligner le fait que le mouvement est le phénomène visuel unificateur.

[44] Ne voulant pas raviver le spectre de la théorie de la persistance visuelle, nous éviterons d'employer le mot « persistance » pour décrire cette priorité fondamentale de la matière à ne pas disparaitre soudainement.

[45] Nous verrons au prochain chapitre qu'Anderson (1998, p. 97-98) associe ce phénomène au fait que le montage hollywoodien crée une expérience qui nous semble continuelle.

Nous avons vu au début de ce chapitre que les poses d'une entité en mouvement sont espacées dans un mouvement apparent de longue portée. Si le mouvement apparent de longue portée est si différent du mouvement réel et apparaît dans des conditions particulières, pourquoi sommes-nous en mesure de le percevoir ? Nous avons déjà proposé que les avantages évolutifs associés à une hypersensibilité aux mouvements de tous types dépassent largement les coûts d'être trompés occasionnellement par un mouvement artificiel, mais est-il possible que les mouvements apparents de longue portée se manifestent dans la nature ? Anstis et Ramachandran (1986, p. 102-103) pensent que c'est le cas. Ils proposent que le système perceptuel est en mesure de percevoir du mouvement apparent de longue portée, car ce dernier simule ce qui arrive lorsque nous traquons un animal qui disparaît et réapparaît derrière des objets qui bloquent notre vue (p. ex. des arbres ou du feuillage). L'effet est illustré par l'auteur à la figure 4.15 et dans la vidéo suivante : https://youtu.be/OOxjAVuE9Q0.

Figure 4.15 : Occlusion et mouvement apparent

(a) Image des intervalles sans obstacle

(b) Image des intervalles avec obstacles

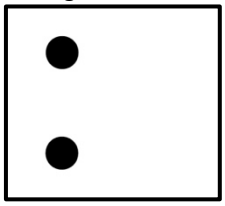
Le mouvement apparent de longue portée observé généralement dans un laboratoire n'est probablement pas aussi rare que certains peuvent l'imaginer, car il est une approximation d'un phénomène réel qui se produit couramment dans la nature. En ce sens, notre hypersensibilité à toutes les formes de mouvement dans notre environnement (réels ou apparents, espacés ou proches, de courte ou de longue portée) est nécessaire d'un point de vue évolutionniste. Il faut également noter que la tolérance joue un rôle majeur dans la perception de mouvement apparent de longue portée, car le système doit être en mesure de voir du mouvement dans toutes sortes de circonstances. Dans les arts visuels, l'occlusion est un des repères visuels que l'artiste peut utiliser pour simuler la perspective et la profondeur de champ dans un dessin ou dans une animation. Avant l'invention des procédés infographiques, un animateur utilisait de nombreuses méthodes et techniques (p. ex. les celluloïds ou acétates transparents[46], la caméra multiplan et à la tireuse optique) pour suggérer la profondeur de champ dans une scène à l'aide de l'effet d'occlusion. À l'exception

[46] Le *cell system*, breveté par John Bray et Earl Hurd (Beckerman, 2003, pp. 21-22), consiste à dessiner un personnage animé sur le recto d'un celluloïd ou acétate de cellulose. Puisque le support est transparent, le personnage doit être rempli en peignant sur le verso de l'acétate pour le rendre opaque. C'est durant ce processus de *cell painting* que les couleurs sont ajoutées.

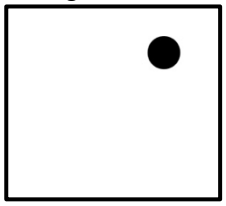
du *slash system* qui opère de manière inverse[47], l'effet est généralement produit lors du tournage en plaçant sur le banc-titre les éléments au premier plan par-dessus les éléments qui sont plus éloignés (voir fig. 1.8). La permanence de la réalité est une notion qui est si fondamentale à notre compréhension de l'univers que la perception l'incorpore automatiquement à ses percepts. Anstis et Ramachandran démontrent l'effet de l'occlusion et la permanence sur la perception dans deux expériences, dont la première est illustrée à la figure 4.16.

Figure 4.16 : Expérience nº 3– La permanence

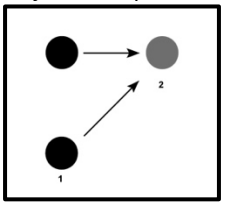
A – 1re image du stimulus



B – 2e image du stimulus



C – Trajectoires possibles



Référence vidéo

https://youtu.be/qmex22Tpf7k

Puisque les objets sont permanents et ne disparaissent pas soudainement, les deux cercles de la première image (4.16a) convergent vers le point en haut à droite de la deuxième image (4.16b). Donc, au lieu de percevoir la dématérialisation soudaine et improbable du cercle du bas, nous voyons plutôt un percept plus plausible, car il respecte la règle de la permanence (Ramachandran et Anstis, 1986, p. 108). Dans ce cas, le cercle du bas se déplace en diagonale (représenté par la flèche allant de 1 à 2 dans l'image 4.16c) et se joint au cercle du haut.

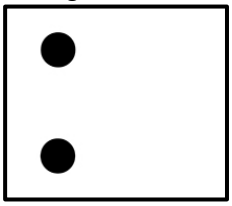
La dernière expérience (1986, p. 108), illustrée à la figure 4.17, démontre l'effet qu'a l'occlusion sur un percept. Les chercheurs réutilisent les mêmes cercles de l'expérience précédente (fig. 4.16), mais ajoutent un carré dans la seconde image (fig. 4.17b). Plutôt que de voir le déplacement diagonal (flèche rouge dans l'image 4.17c), les participants ont tendance à voir le cercle du bas passer derrière le carré en bas à droite (flèche bleue dans l'image 4.17c)[48].

[47] En employant le *slash system*, l'animateur dessine le décor sur une feuille et découpe la zone où l'action et les animations de personnages se dérouleront. Le *slash system* est l'opposé de l'occlusion, car même si le décor semble être derrière les personnages à l'écran, il est vraiment placé, lors du tournage, par-dessus et non derrière les personnages. Ces derniers apparaissent à travers la fenêtre découpée dans le décor (Beckerman, 2003, pp. 22; Furniss, 2016, p. 48). Le *slash system* est inventé par le québécois Raoul Barré (1874-1932).

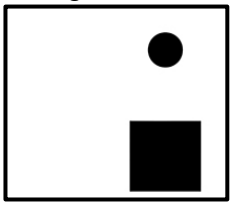
[48] Il se peut que l'observateur ne voie pas cet effet, mais remarque plutôt que le cercle en bas à gauche devient le carré en bas à droite, de la même façon que le carré blanc de la figure 4.13 se transforme en cercle blanc. Ceci illustre le fait qu'il est difficile de reproduire les expériences perceptuelles décrites dans les écrits, car il faut se fier à des descriptions écrites et les informations sont parfois incomplètes.

Figure 4.17 : Expérience nº 4 sur l'occlusion

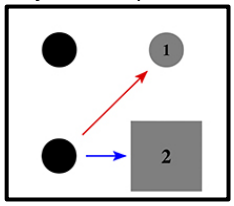
A – 1re image du stimulus



B – 2e image du stimulus



C – Trajectoires possibles



Référence vidéo

https://youtu.be/FoloMkRqYHw

En plus de tenir compte du phénomène de l'occlusion, ce mouvement est également conforme à la règle du parcours le plus court, car le déplacement horizontal est plus court que le mouvement diagonal. Ceci suggère que les règles et axiomes respectent un ordre de priorité qui tient compte de la situation.

4.6.5 Règles prioritaires

Joseph Anderson résume élégamment les règles de Ramachandran et Anstis ainsi :

> 1) that objects tend to remain in continuous existence, and if in motion tend to move along a straight path; 2) that objects are rigid, that is, all their parts tend to move together; and 3) that a moving object will progressively cover and uncover portions of the background. (Anderson, J. D., 1998, p. 33)

Le fait que les choses ne se dématérialisent pas soudainement semble être une règle prioritaire, car il serait excessivement dangereux d'oublier la présence d'un lion dès que ce dernier se cache derrière un buisson. Dans l'expérience sur la permanence (fig. 4.17), le cercle en bas à gauche se joint au cercle en haut à droite, car entre percevoir une disparition (qui est improbable) et percevoir un déplacement, le système perceptuel choisit le mouvement qui est l'option la plus probable. Dans l'expérience sur l'occlusion (fig. 4.17), le fait de voir le cercle passer derrière le carré correspond au percept le plus probable et le plus sécuritaire, car la présence d'un objet qui pourrait potentiellement cacher un autre objet (*occluder*) active le parcours le plus court et nous permet de traquer une chose dissimulée.

Mais, même si la permanence de la matière est un fondement perceptuel, briser cette règle ne semble pas causer autant de problèmes que nous pourrions le supposer. Qu'arrive-t-il quand une chose apparaît et disparaît soudainement, comme il arrive parfois dans un « flicker film[49] » (p. ex. *Razor Blades* [Sharits, 1968]) ? Lorsqu'un tel film nous bombarde d'images disparates, notre système visuel cherche quand même à donner un sens perceptuel à cet univers cinématographique, probablement parce que la

[49] D'après *The Complete Film Dictionary* (Konigsberg, 1997, p. 150), c'est suite à la parution de *Flicker*, un court-métrage de 30 minutes explorant les effets stroboscopiques, que le terme « flicker » devient le terme générique employé pour désigner un film expérimental ayant un objectif similaire.

perception suppose que ce monde fictif est ordonné de la même façon que le monde réel est ordonné. Si les choses qui apparaissent et disparaissent soudainement sont relativement proches les unes des autres, nous pouvons voir du mouvement entre celles-ci. L'impression du mouvement est si forte qu'à des vitesses rapides, nous voyons du mouvement entre des formes, même si celles-ci représentent des choses différentes (voir fig. 4.12 et chap. 2). En revanche, si les choses apparaissent trop rapidement ou sont trop espacées, nous sommes incapables de créer ou d'inférer des liens causaux entre les stimuli et nous percevons soit des événements successifs, soit des phénomènes simultanés. Bien que le terme *flicker film* se rapporte au papillotement de l'image, il peut aussi décrire le fait que l'expérience semble fluctuer, car les phénomènes disparates ne forment pas une expérience visuelle continue. Être exposé à une succession chaotique de choses peut être déstabilisant, distrayant, épuisant, envoûtant ou même amusant, mais le système perceptuel semble endurer, s'adapter ou apprécier l'expérience. Donc même si une règle fondamentale de la réalité est brisée dans un film de ce type, cette infraction ne semble pas causer de dommages à notre système perceptuel[50]. Il se peut que l'effet négatif soit atténué par le fait que notre système visuel est plus permissif, moins susceptible ou plus tolérant lorsqu'il est question d'un monde fictif. Nous continuerons d'explorer la flexibilité perceptuelle des univers fictifs au chapitre 7, lorsqu'il sera question du degré de réalisme en animation et de la théorie de l'Umwelt. Nous verrons aussi au sein du prochain chapitre qu'un bris de la permanence n'est pas complètement sans conséquence, car il peut potentiellement expliquer pourquoi un faux raccord ou *jump cut* est si déstabilisant dans un montage cinématographique.

4.7 L'ISI au cinéma

Il va sans dire que les règles de Ramachandran et Anstis sont une contribution majeure à la compréhension du mouvement apparent. Elles expliquent avec simplicité la façon dont le mouvement est perçu. Mais quels sont les facteurs qui contribuent à la production du mouvement apparent ? Puisque les mouvements cinématographiques et animés doivent leur existence à la manipulation de paramètres très précis, il est important d'examiner l'influence des valeurs mentionnées au début de ce chapitre. Les expériences d'Exner et Wertheimer démontrent que la perception du mouvement apparent dépend de plusieurs paramètres interdépendants. Ces derniers sont : 1) la distance parcourue par l'objet, 2) la durée d'affichage de chaque stimulus (SD ou *stimulus duration*), 3) la durée entre la disparition d'un stimulus et l'apparition du stimulus (ISI ou *interstimulus interval*, en anglais), 4) la taille des objets, et 5) l'intensité ou

[50] Il faut cependant faire attention, car le papillotement de la lumière présent dans certains *flicker films* peut provoquer des crises chez les gens atteints d'épilepsie photosensible.

la luminosité des stimuli (Kolers, Paul A, 1971, p. 21). L'animateur sait que le rapport entre les deux premières variables (la distance et la durée) est au cœur du mouvement animé. Mais avant de traiter des facteurs perceptuels qui sont propres au cinéma (p. ex. les principes de la cadence, du tempo/*timing*, etc.) au prochain chapitre, est-ce que la science perceptuelle peut expliquer le rôle des autres variables dans la production d'un mouvement animé[51] ?

Dans les expériences citées jusqu'à présent, il est souvent question de la distance entre les stimuli et la durée temporelle de l'intervalle qui les sépare, mais est-ce que l'ISI joue un rôle au cinéma ? Puisque les photogrammes dans un film se succèdent rapidement, nous pourrions nous demander si ce délai existe vraiment au cinéma. Après tout, l'ISI pourrait être un paramètre exclusif au mouvement apparent produit dans un laboratoire. Cette supposition est toutefois fausse, car durant la projection d'un film traditionnel, l'image disparaît chaque fois que l'obturateur bloque la lumière, et la durée de ces intervalles obscurs est beaucoup plus longue que nous pourrions le supposer. De la même manière que notre système perceptuel n'a pas la sensibilité requise pour détecter les fluctuations lumineuses au-delà de 60 Hz (seuil de fusion du papillotement), nous sommes incapables de voir les moments où la pellicule est cachée. Ces interstices sont néanmoins présents et nous pouvons les comparer aux ISI mentionnés dans les expériences scientifiques, car ils représentent la même chose. En d'autres mots, la durée des interstices séparant la projection d'une image A et la projection d'une image B au cinéma est l'équivalent de l'ISI dans une expérience scientifique. Réalisant qu'il est possible de calculer l'ISI dans un film, nous avons dressé une liste des valeurs associées à chaque obturateur au tableau 4.1.

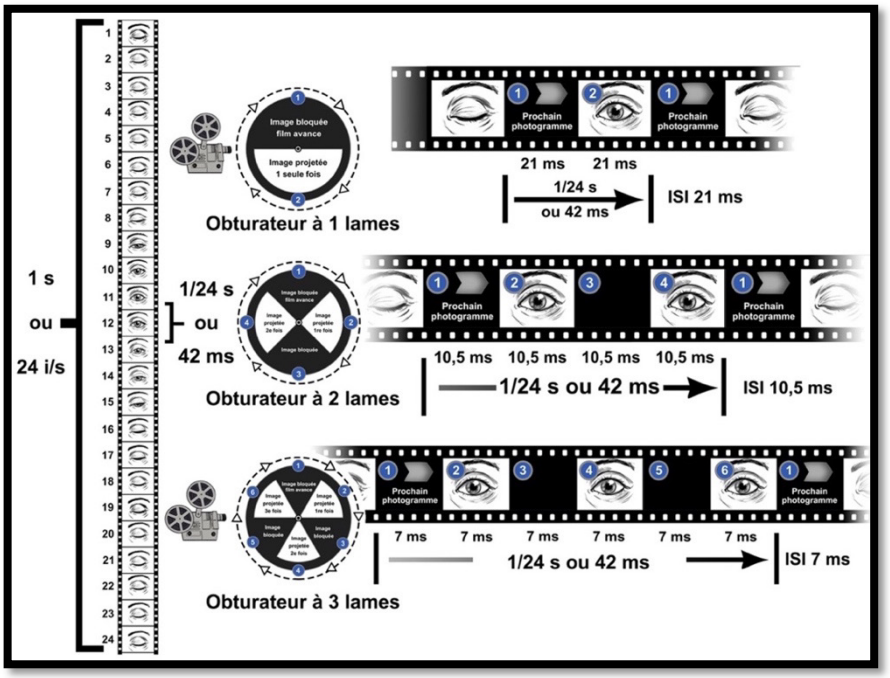
Tableau 4.1 : ISI et projection d'un film à 24 i/s

Nb de lame(s)	Fréquence	ISI (ms)	SD (ms)
1	24 Hz	21 ms	21 ms
2	48 Hz	10,5 ms	10,5 ms
3	72 Hz	7 ms	7 ms

[51] Il faut préciser que nous tentons encore de mieux comprendre quels facteurs produisent un mouvement apparent. Il n'est pas encore question de la qualité des mouvements apparents. Donc, même si nous avons différencié un mouvement apparent court (fluide) et le mouvement apparent long (saccadé), nous posons la question fondamentale : « est-ce que notre stimulus visuel bouge ? ». La réponse à cette question est binaire, car la calibration des variables qui sont décrites produit soit un mouvement apparent ou ne produit pas de mouvement. La question de la qualité du mouvement animé sera traitée au sein du prochain chapitre.

Pour éviter une mauvaise interprétation de ces données, il est nécessaire d'expliquer comment ces mesures ont été obtenues. D'abord, l'ISI (durée de l'intervalle dans le noir) et le SD (durée d'affichage du stimulus) ont la même valeur, car l'obturateur tourne à une vitesse constante (Hammack et Kranz, 2015). Une image est donc cachée pour la même durée qu'elle est affichée. Cette durée dépend de la fréquence. Plus l'obturateur est muni de lames, plus ces durées sont courtes, car les images sont affichées et cachées plus souvent et plus rapidement. Puisque nous comparons le cinéma à une expérience perceptuelle, il faut apporter la précision suivante. Dans les expériences visuelles que nous avons décrites, deux stimuli alternent à l'écran. Le ISI représente donc la durée de l'intervalle entre la première image et la seconde image. Au cinéma, par contre, 24 photogrammes (stimuli) sont affichés par seconde et un projecteur peut projeter le même photogramme, appelons-le « A », une fois, deux fois ou trois fois de suite avant de passer au prochain photogramme « B ». En termes perceptuels, ceci implique que le ISI au cinéma ne désigne pas nécessairement la durée de l'interstice entre deux images différentes, mais peut représenter l'intervalle entre la répétition de la même image. Par exemple, lorsqu'un projecteur est équipé d'un obturateur à trois lames, le même photogramme A est projeté trois fois à l'écran pour éliminer le papillotement de la lumière. L'ISI séparant les trois apparitions successives de A est de 7 ms. Si nous additionnons les trois valeurs de ISI, nous arrivons à 21 ms, car le film est caché la moitié du temps, peu importe la fréquence.

Figure 4.18 : ISI et le cinéma à 24 i/s



La figure a été créée par l'auteur qui, pour la forme des obturateurs, s'est référé aux images employées par (Hammack et Kranz, 2015) dans une vidéo expliquant le fonctionnement d'un projecteur.

Réciproquement, puisque l'ISI correspond au SD, la durée d'affichage de chacune des trois apparitions de A est aussi de 7 ms (SD) et le SD cumulatif de chaque photogramme est encore de 21 ms à une cadence de 24 i/s, même s'il

apparaît et disparaît trois fois. Puisque ces explications sont un peu techniques, le processus est illustré à la figure 4.18.

Il est important de décrire comment ces résultats ont été calculés, car ces derniers réfutent la présomption que la durée d'affichage de chaque photogramme d'une animation en 24 i/s est de 1/24 s (41,67 ms). La durée d'affichage d'un seul photogramme en 24 i/s est réellement de 1/48 s ou de 21 ms (SD). Ces valeurs nous forcent aussi à revisiter un résultat cité au début de ce chapitre. Rappelons que Wertheimer observe la simultanéité de deux stimuli qui alternent à des ISI de 30 ms (Sarris, Viktor, 2012, p. 95). Comment se fait-il que le dispositif cinématographique qui a un ISI beaucoup plus rapide (de 7 ms à 21 ms) produise du mouvement apparent au lieu d'afficher des images simultanément ? En vérité, nous n'avons pas trouvé d'explication dans les écrits, car nous semblons être les premiers à noter cette différence perceptuelle. Après avoir tenté de formuler quelques hypothèses pour expliquer cette disparité, nous avons réalisé que l'exercice est en quelque sorte futile pour trois raisons. D'abord, nous n'avons pas assez d'informations sur les expériences de Wertheimer. En deuxième lieu, comme le démontre la confusion entourant les présumées « lois » de Korte[52], un mouvement apparent dépend d'un rapport dynamique entre de multiples variables interdépendantes qui semble trop complexe pour être réduit à une formule mathématique. Par conséquent, il ne faut pas nous attendre à ce que nos spéculations résolvent le problème dans le cadre de cette thèse. Finalement, il est raisonnable d'inférer que la simplicité des expériences menées par Wertheimer ne peut se comparer à la complexité de la composition des plans et des mouvements apparents au cinéma. Nous pouvons donc conclure que la simultanéité observée par Wertheimer à des ISI de 30 ms est peut-être causée par une particularité expérimentale (p. ex. type de mouvement apparent, taille des images, luminosité, etc.) qui est différente du cinéma. Les différences entre la perception cinématographique et les expériences de Wertheimer et d'Exner[53] illustrent les

[52] Alors qu'il est supervisé au doctorat par Kurt Koffka (Colman, 2015, p. 407), un jeune psychologue allemand du nom de Adolf Korte tente d'expliquer la fluidité du mouvement apparent en examinant la relation entre trois paramètres (Korte, 1915). Ces valeurs sont : 1) l'intensité du stimulus [I], 2) la distance [D] entre les stimuli et 3) la durée de l'intervalle temporel [*ISI*] (Kolers, 1971, p. 21). D'après Boring (1942, p. 598), Korte aurait formulé trois lois qui décrivent l'effet de ces variables sur le mouvement. Kolers, Paul A (1971, p. 21) remarque cependant que le nombre de ces lois est incertain et qu'il faut douter de leur véracité. De plus, la troisième loi qui stipule qu'un mouvement apparent est produit lorsque la distance entre deux stimuli est directement proportionnelle à la durée de l'ISI (Boring, 1942, p. 598; Kolers, Paul A, 1971, p. 21) semble raisonnable, mais Gepshtein et Kubovy observent que le rapport temps/espace est inversement proportionnel dans certaines circonstances (2007, p. 1). La double nature contradictoire de cette loi cause plus de problèmes consternants qu'elle n'en résout. Elle est ainsi trop vague et ambiguë (Gepshtein et Kubovy, 2007; Kolers, Paul A, 1971, p. 28) pour être utile en animation.

[53] De plus, le fait qu'Exner observe de la simultanéité à des ISI de 10 ms (Kolers, Paul A., 2013 [1972], p. 8) et non à 30 ms (Sarris, Viktor, 2012, p. 95) illustre la variabilité des résultats dans ce type d'expérience et démontre qu'il est imprudent d'accorder trop d'importance à des recherches dont nous ne connaissons pas les paramètres exacts.

différences entre les objectifs artistiques et scientifiques et le fait que le cinéma est un appareil perceptuel ingénieux.

4.8 Les limites des sciences visuelles

L'animatrice n'a pas besoin d'un laboratoire, d'une équation scientifique ou d'un diplôme en sciences visuelles pour comprendre le rapport complexe entre tous les paramètres visuels nécessaires à la création d'un mouvement animé, car la saillance du mouvement est tellement forte qu'il est relativement simple de produire un mouvement apparent. De plus, l'ingéniosité du cinéma est que ses créateurs ont confectionné un outil qui incorpore de manière invisible et automatique les préceptes et mécanismes de la perception qu'il imite[54]. Par conséquent, le cinéaste n'est pas obligé de comprendre l'interaction entre l'ISI et le SD pour capter un mouvement, car sa caméra est conçue pour accomplir cette tâche automatiquement. Mais qu'en est-il du travail de l'animatrice ? Doit-elle comprendre le rapport complexe entre tous les paramètres visuels pour créer un mouvement animé ? La réponse tend vers l'affirmative, mais le processus n'a pas la rigueur d'une expérience scientifique, car la production d'un mouvement fluide se fait généralement de manière intuitive, par essai et erreur. En d'autres mots, une animatrice n'a pas besoin d'effectuer des calculs complexes en animant. Elle n'a qu'à regarder son animation pour voir si le mouvement qu'elle a produit est satisfaisant. De plus, son travail est grandement simplifié par le fait que le nombre de variables pouvant influencer la qualité d'un mouvement est limité. Par exemple, l'ISI et le SD sont fixes au cinéma[55], car ils sont déterminés par la cadence et la fréquence d'un film. De plus, l'animatrice n'a vraiment qu'à se soucier de la cadence pour animer, car la fréquence relève du papillotement de la projection[56] et ne s'applique pas à la production du mouvement. Mais la cadence n'est que l'outil. Pour bien animer, l'animatrice utilise comme guide un ensemble de principes et d'astuces qui manipulent à la fois la cadence, la distance et la durée. Il faut aussi ajouter que les préoccupations de l'animatrice sont différentes des préoccupations de la scientifique. Quiconque a déjà confectionné un folioscope peut attester qu'il est relativement simple de produire un mouvement apparent. Mais qu'en est-il de la qualité de ces mouvements ? Sont-ils fluides ou saccadés, ternes ou expressifs, réalistes

[54] Cet exploit de design n'est pas propre au cinéma, car la plupart de nos outils, du levier à l'iPhone, sont conçus de la même manière.

[55] Bien que l'animation et le cinéma sont souvent cités dans les écrits scientifiques comme des manifestations courantes de mouvements apparents (p. ex. Ramachandran et Anstis, 1986, p. 103; Wolfe *et al.*, 2019, p. 249), les chercheurs ne semblent pas avoir noté que le nombre limité de variables employées au cinéma peut potentiellement faciliter l'étude scientifique du mouvement apparent.

[56] Le papillotement est un problème majeur lorsqu'une animation est filmée image par image avec une caméra. Le phénomène est causé par les petites différences de luminosité d'une image à une autre. Celles-ci sont imperceptibles à l'œil nu d'une image à l'autre, mais deviennent insupportables lorsque les images sont projetées successivement.

ou cartoonesques ? Alors qu'une scientifique cherche à comprendre les mécanismes fondamentaux permettant la perception d'un mouvement, la question cruciale que l'animatrice se pose au quotidien n'est pas : « Comment se fait-il que mes dessins bougent ? » ou : « Est-ce que mes dessins vont bouger ? », mais est plutôt : « Mon animation va-t-elle *bien* bouger ? ». Le chapitre suivant identifie les éléments, principes et astuces employés en animation pour produire un mouvement apparent qui « fonctionne ». Nous verrons que, malgré la complexité psychophysique du mouvement apparent, les animatrices ont réussi à produire des mouvements fluides et expressifs à l'aide de notions générales, pratiques et holistiques. Il est souhaité que l'échange d'idées et de concepts entre la science et l'animation qui est présenté au prochain chapitre aidera à avancer le savoir collectif de chaque discipline.

CHAPITRE 5

L'illusion du mouvement animé : principes fondamentaux

> To me everything in a movie is an illusion, and the projected illusion of motion is at its core. (Trumbull, 2021, p. ix)

Une revue des écrits scientifiques nous a permis de mieux comprendre plusieurs aspects du mouvement animé, incluant la façon dont le fait qu'il existe deux formes de mouvement apparent : celui de courte portée, qui est fluide, et celui de longue portée, qui est saccadé. Puisque le cinéma et l'animation produisent des mouvements apparents réalistes, il est pertinent d'examiner comment certaines notions perceptuelles se manifestent et ont été intégrées aux systèmes de production, au savoir-faire et aux méthodologies de travail de ces deux formes artistiques. Ce chapitre examine donc les éléments, principes et astuces employés pour produire un mouvement apparent qui, dans un premier temps, *fonctionne* et qui, dans un deuxième temps, fonctionne *bien*. Il est important d'expliquer ce qui est entendu par « fonctionne » et « bien », car ces deux termes sont vagues. Tout comme une barque doit d'abord être en mesure de flotter avant d'être mise à l'eau et qu'un abri ne doit pas s'effondrer au moindre coup de vent, nous cherchons à identifier la première caractéristique ou condition qui doit être satisfaite par un mouvement apparent pour que ce dernier remplisse sa fonction perceptuelle. Avant même de pouvoir créer un mouvement qui fonctionne, une animatrice doit être en mesure de produire l'illusion du mouvement. Bien que cette condition préalable soit essentielle à la création du cinéma (voir chap. 3, [Thompson et Bordwell, 2010, p. 4]), elle est facile à satisfaire, car, pour des raisons de survie, le système visuel est hypersensible au moindre mouvement dans le champ visuel (voir chapitres 1 et 2). Il est ainsi facile pour une animatrice de faire bouger un objet inanimé d'une position A à une position B. Cet acte à lui seul n'est toutefois que la première étape, car l'animation risque d'être rudimentaire et ne pourra être employée dans un film. La deuxième condition élémentaire qu'un mouvement apparent doit satisfaire pour fonctionner est qu'aucun facteur ne doit briser l'illusion. Cette condition peut sembler tout aussi circulaire et évidente que la première. Elle mérite néanmoins d'être soulignée, car le but d'une illusion de ce type est généralement de passer inaperçu. D'après le phénomène de l'*omission neglect* (voir chap. 3), le système visuel est conçu pour détecter la présence d'un élément et non son absence. Par conséquent, une spectatrice détectera la présence d'une erreur dans un mouvement apparent qui ne fonctionne pas, alors qu'elle ne sera tout simplement pas consciente d'avoir vu un mouvement apparent sans erreur. Ce

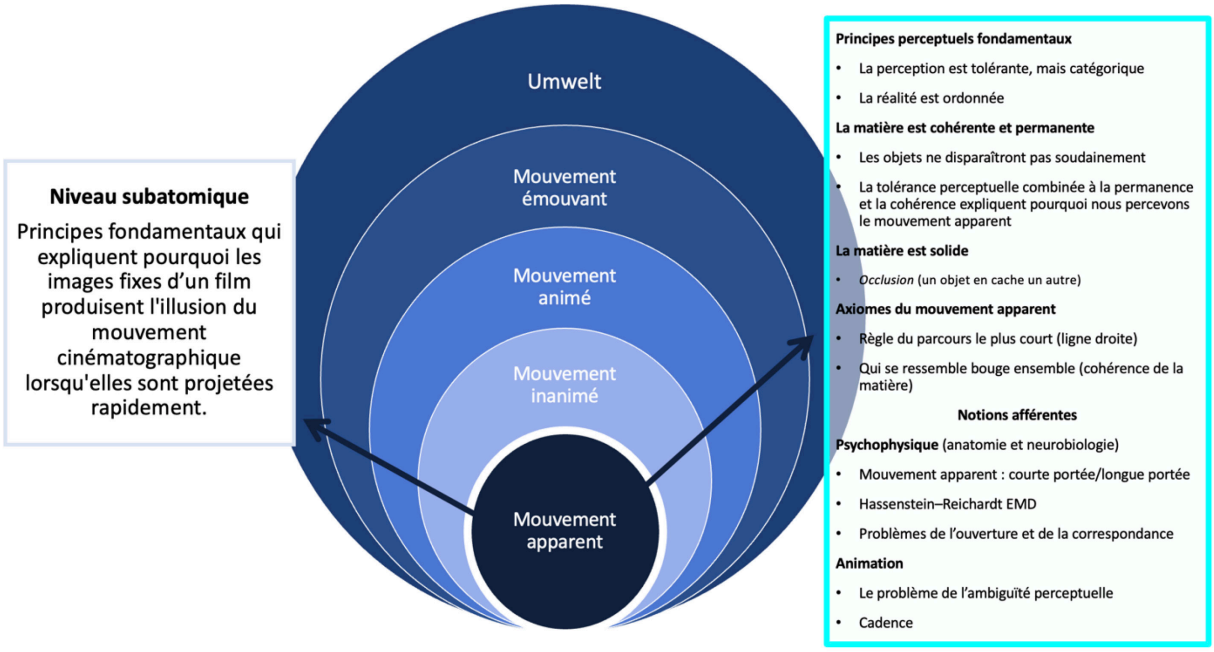
phénomène est tout à fait normal, car la réalité ne cherche pas à nous tromper[1]. Il est donc insensé et dangereux d'un point de vue évolutionniste de douter de la véracité de ce que nous percevons. En revanche, puisqu'une animation est un simulacre, certains facteurs peuvent détruire ou rehausser la crédibilité de l'illusion. Lorsqu'aucun facteur ne mine l'illusion, la spectatrice perçoit le mouvement sans se poser de question, comme s'il s'agissait d'un vrai mouvement. Nous dirons alors que l'animation fonctionne et que l'animatrice a bien fait son travail. Il ne faut toutefois pas confondre un mouvement qui bouge bien avec un mouvement qui est fluide. S'il est vrai que le mouvement apparent de courte portée est fluide, un mouvement apparent de longue portée, comme celui d'une marquise de cinéma, est d'une nature saccadée (voir chapitre 4). Mais la fluidité du premier n'est pas meilleure que la qualité saccadée du second. Les deux types de mouvement apparent « fonctionnent », car ils reproduisent fidèlement le type de mouvement réel qu'ils imitent. Nous proposons donc qu'un mouvement animé doit, d'abord et avant tout, être fidèle au mouvement qu'il imite. Nous appelons cette règle « la cohérence perceptuelle ». Par conséquent, si une animatrice souhaite représenter des actions réalistes, l'ampleur de l'espace séparant deux positions doit être minimisée pour que les mouvements animés soient de courte portée et gardent leur fluidité. En revanche, si l'animatrice anime un phénomène artificiel, comme les lumières ambulantes d'une machine, l'espace entre les stimuli peut être augmenté jusqu'à ce que le mouvement devienne de longue portée.

Une fois qu'une animation fonctionne (en étant fidèle à sa nature perceptuelle), l'animatrice peut l'améliorer pour qu'elle fonctionne bien. Puisqu'une animation professionnelle peut être raffinée de plusieurs façons, la création d'un mouvement perceptuellement cohérent n'est que la première étape dans un processus de bonification graduelle. À un niveau fondamental, il est important d'identifier quelles sont les erreurs qui peuvent détruire l'illusion du mouvement apparent et quels facteurs peuvent l'accentuer. Dans cette optique, nous proposons de classifier les différentes formes du mouvement animé en cinq catégories ou étapes perceptuelles imbriquées. Illustrés à la figure 5.1, ces cinq paliers forment, avec les principes et les phénomènes qui les composent, les **piliers perceptuels de l'animation**. Le premier palier regroupe les assises psychophysiques et les principes fondamentaux du mouvement apparent. En

[1] Bien que la perception crée une impression cohérente et continue de la réalité, certains chercheurs, adhérant à la perspective indirecte, suggèrent que cette sensation est illusoire, car la perception est une reconstitution de la réalité. Pour des raisons de survie, nous ne sommes cependant pas conscients de cette « grande illusion de la perception » (Benjafield *et al.*, 2010, p. 67) et nous ne doutons pas de l'authenticité de nos percepts. Nous verrons notamment à la fin de ce chapitre que le montage hollywoodien imite ces processus de reconstitution mentale pour créer l'illusion d'une expérience cinématographique continue alors que le film est composé de plans distincts.

abordant tout ce qui touche à la question : « comment percevons-nous du mouvement animé ? », les chapitres précédents ont servi à élucider cette catégorie fondamentale.

Figure 5.1 : Les cinq paliers perceptuels de l'animation



Le deuxième palier porte sur les techniques et les technologies employées au cinéma et en animation pour produire des mouvements apparents de courte et de longue portée qui sont convaincants. Puisque l'animation requiert la production de mouvement apparent de courte portée, nous examinerons dans ce chapitre comment l'animatrice produit des animations fluides et évite de commettre des erreurs perceptuelles. Cette catégorie aborde également la production de mouvements inanimés qui sont déterminés par les lois de la physique newtonienne. Le troisième palier concerne les mouvements animés qui sont effectués par les entités biologiques. Le quatrième et dernier palier regroupe les notions qui sont associées à l'expression des émotions par le mouvement et la performance des personnages. Initialement, nous pensions placer les catégories sur un spectre allant du mouvement rudimentaire au mouvement expressif, mais le fait que les étapes soient présentées comme des catégories enchâssées illustre élégamment le fait que la bonification d'une animation est un processus évolutif et inclusif qui dépend des étapes précédentes. Puisque les mécanismes fondamentaux du premier palier ont été décrits au dernier chapitre, le présent chapitre aborde les facteurs perceptuels qui nuisent au mouvement apparent de base (paliers 1 et 2). Le problème perceptuel le plus commun à ces deux niveaux survient lorsqu'une animatrice produit une animation qui n'est ni de courte portée ni de longue portée. Pour rétablir la cohérence perceptuelle d'une animation, il faut la sortir de cette vallée de l'ambiguïté.

5.1 La vallée de l'ambiguïté apparente

Le mouvement apparent de courte portée peut sembler tout aussi naturel qu'un mouvement réel, mais il existe une différence perceptuelle importante entre ces deux phénomènes. À moins d'être perçu dans des circonstances inusitées (p. ex. lumières stroboscopiques), le mouvement réel semble toujours fluide, peu importe sa vitesse, alors qu'un mouvement animé peut nous sembler artificiel. Pourquoi est-ce le cas ? À moins de traquer un objet qui se déplace derrière d'autres objets, le mouvement réel ne sera jamais saccadé, car il ne disparaît jamais du champ visuel. Les cellules rétiniennes sont ainsi continuellement stimulées. Étant toujours présent, ne laissant pas de trous, le passage d'un objet qui se déplace active de manière continue une suite de champs récepteurs adjacents, de la même façon qu'une pianiste effectuant un glissando produit une cascade musicale qui ne laisse aucune place au silence. Par conséquent, même lorsqu'un déplacement est extrêmement rapide, la forme de l'objet peut sembler floue et déformée, mais le mouvement lui-même ne perd pas son caractère naturel. Pour ainsi dire, il y a peut-être une baisse dans la résolution de l'image, mais il n'y a pas de diminution dans la fluidité du mouvement. Un mouvement animé est toutefois fondamentalement différent à cet égard, car il s'agit d'une illusion composée d'images immobiles qui peuvent être plus ou moins accolées. S'il y a peu d'images distancées, le mouvement apparent est de longue portée. Il est saccadé et rapide. À l'inverse, si les positions successives d'un objet sont proches les unes des autres, le mouvement apparent est de courte portée et fluide comme un mouvement réel. Il est également plus lent, car la durée du déplacement augmente avec chaque image supplémentaire ajoutée au mouvement. Ces caractéristiques qui sont listées au tableau 5.1 forment la base du *timing* (principe d'animation n° 9) tel que présenté dans *The Illusion of Life* (Thomas et Johnston, 1981, p. 64-65) et du tempo, tel que décrit dans *Le Mouvement image par image* (McLaren, N. et Munro, 1976a, 1976b, 1976c, 1977, 1978), une série de courts-métrages animés produits par l'ONF. Nous reviendrons au *timing* et au tempo plus tard dans ce chapitre, après avoir approfondi la notion de la cadence.

Tableau 5.1 : Effets de la cadence sur le mouvement apparent

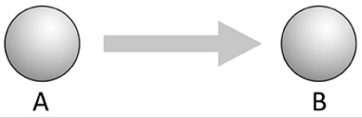
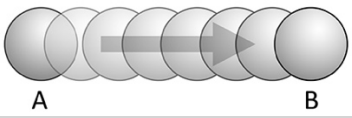
	Peu d'images/cadence basse	**Beaucoup d'images/cadence élevée**
Apparence		
Vitesse	Rapide	Lent
Qualité	Saccadée	Fluide
Type de mouvement apparent	De longue portée	De courte portée

Figure 5.2 : La distance dans trois types de mouvement apparent

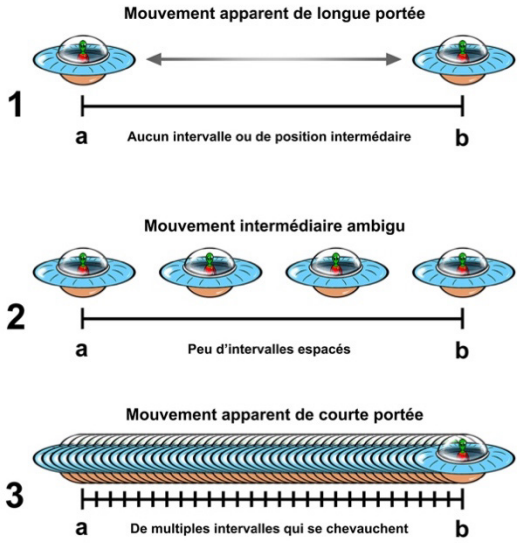


Figure et vidéo créées par l'auteur.

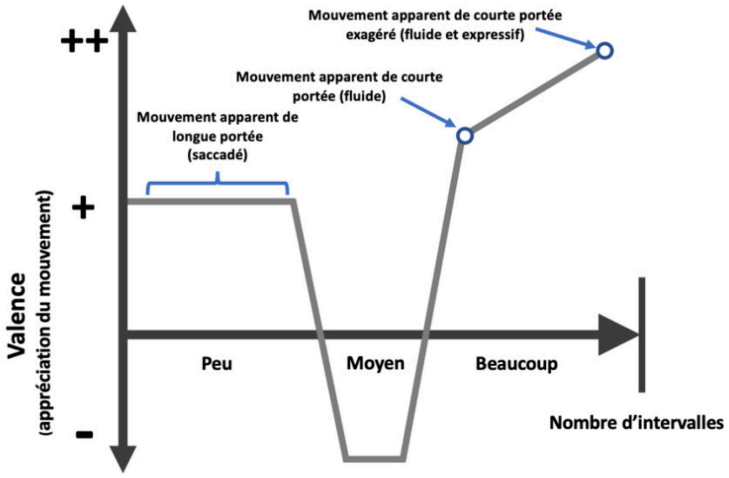
Comme nous venons de mentionner, les deux types de mouvement apparent (longs et courts) fonctionnent, car ils sont perceptuellement cohérents. Des problèmes surviennent toutefois lorsque les positions de l'objet en mouvement sont trop écartées pour produire un mouvement fluide de courte portée, mais sont trop proches pour créer un mouvement saccadé de longue portée (voir fig. 5.2.2). Cet état intermédiaire produit un mouvement stroboscopique dérangeant qui nuit à l'expérience perceptuelle. La distance entre les positions des ovnis dans la figure 5.2.1 crée un mouvement saccadé de longue portée. Le mouvement illustré à la figure 5.2.3 est fluide, car il est de courte portée. Comment se fait-il que le mouvement apparent représenté à la figure 5.2.2 nous paraisse étrange ? Les trois mouvements peuvent être observés dans la vidéo suivante : https://youtu.be/GG-o_xLclcc.

Bien que nous n'ayons pas trouvé d'explication dans les écrits scientifiques que nous avons consultés, il est possible de formuler le postulat suivant en se basant sur les notions et mécanismes décrits jusqu'à présent. Nous avons vu au sein du dernier chapitre que les mouvements de courte et de longue portée sont traités par deux systèmes visuels différents (Anderson, J. D., 1998, p. 58-59; Kolers, Paul A. et Pomerantz, 1971, p. 71). Nous croyons donc qu'un mouvement intermédiaire ne fonctionne pas, parce qu'il est ambivalent et que cette ambiguïté cause un antagonisme entre le système qui analyse le mouvement apparent de courte portée et le système qui interprète le mouvement de longue portée. Lorsque nous voyons un mouvement animé de courte portée, les images successives de l'animation activent les champs récepteurs du système visuel les uns après les autres, de la même façon qu'un mouvement réel les stimule. Puisque les images se chevauchent, le système perceptuel est en mesure d'interpréter l'illusion comme un mouvement continu plutôt que de percevoir chaque instance, dessin ou image comme un objet distinct. D'après l'analogie employée au dernier chapitre pour illustrer le modèle Hassenstein-Reichardt EMD, ce chevauchement permet au brigadier de s'assurer que l'élève a bel et bien traversé son intersection en sécurité (voir fig. 4.5). Même si le brigadier a momentanément perdu l'écolier

de vue, le superviseur n'est pas trop inquiet, car le prochain brigadier l'avertit que l'enfant s'est rendu au prochain coin de rue. Les problèmes perceptuels surviennent lorsque la distance entre chaque intervalle n'est pas assez rapprochée pour être considérée courte ni longue. Ne sachant pas quel procédé employer (court ou long) et devant résoudre le conflit perceptuel rapidement, le mouvement intermédiaire semble bizarre, car le percept alterne entre deux systèmes différents. Cette ambiguïté expose la source de l'illusion et nous percevons un mouvement qui saute d'une image distincte à une autre d'une manière heurtée. D'après cette interprétation, l'effet stroboscopique est en quelque sorte un mauvais compromis perceptuel qui n'est ni fluide ni saccadé. En paraphrasant la définition célèbre de Norman McLaren[2] (présentée au chap. 1), nous pourrions aussi déclarer qu'une animation est ambigüe lorsque les interstices invisibles qui séparent chaque photogramme deviennent visibles.

Le fait que les états ambigus produisent des mouvements étranges peut expliquer un phénomène particulier qui survient en animant. Tel que mentionné dans la description du principe d'animation *straight ahead action and pose to pose* (n° 4) au chapitre 1, une animatrice débute une scène en identifiant les moments majeurs d'une action et en créant des positions clés, soit en dessin ou dans le logiciel 3D. Il est recommandé de tester le mouvement produit par ces quelques dessins avant d'animer la scène au complet. Même si elle n'est composée que de quelques images clés, cette animation préliminaire [3] fonctionne, parce qu'elle est un mouvement apparent de longue portée. Lorsqu'elle a bien planifié son travail, l'animatrice commence à ajouter des intervalles (*in-between*) pour que le mouvement devienne plus naturel. L'ajout de quelques intervalles n'est toutefois pas suffisant pour

Figure 5.3 : Vallée de l'ambiguïté apparente



Nous avons créé cette figure en s'inspirant de celle employée par Mori (2012 [1970]-a, p. 28) pour illustrer la vallée de l'étrangeté.

[2] McLaren définit l'animation comme étant : « […] the art of manipulating the invisible interstices that lie between the frames » (Hoffer, 1981, p. 5).

[3] En anglais, la première version d'une animation est qualifiée de *rough*. Cette animation préliminaire est généralement composée de quelques dessins réalisés rapidement. L'important n'est pas de produire de beaux dessins, mais de tester le mouvement. Une animation *rough* est dans ce sens l'équivalent animé d'une ébauche ou d'une esquisse.

produire un déplacement fluide. Comme nous l'avons démontré dans la vidéo de l'ovni (fig. 5.2), le mouvement devient plutôt stroboscopique, car il a basculé dans ce que nous surnommons la « vallée de l'ambiguïté apparente ». Illustrée à la figure 5.3, celle-ci se situe entre le mouvement saccadé de longue portée et le mouvement plus naturel de courte portée. Nous avons nommé le phénomène ainsi, car il est similaire à l'hypothèse de la vallée de l'étrangeté (*uncanny valley hypothesis*) qui, comme nous l'avons mentionné au sein de l'introduction, décrit l'ensemble des sentiments négatifs ressentis en percevant un personnage ou une entité dont l'apparence est presque humaine sans toutefois l'être (Mori, 2012 [1970]-a, 2012 [1970]-b).

Avant de décrire l'hypothèse de la « vallée de l'ambiguïté apparente », il faut noter qu'elle n'est pas basée sur des expériences scientifiques, mais repose sur nos propres observations et expériences en tant qu'animateur et professeur. Nous croyons cependant qu'elle mérite d'être présentée, car elle illustre d'une manière plausible l'effet binaire que peut avoir un stimulus visuel sur la valence perceptuelle. Nous employons la « valence » pour quantifier notre appréciation d'un mouvement apparent, car elle mesure la réaction affective la plus élémentaire. Elle va ainsi d'une valeur positive (agréable) à une valeur négative, qui est une réaction désagréable (Barrett, 2006, p. 38; LaBar et Cabeza, 2006, p. 54). Il faut souligner que notre schéma est approximatif, car le nombre d'intervalles associé à chaque état (valence positive ou négative) dépend de plusieurs facteurs qui varient d'une animation à l'autre (p. ex. la forme des objets en mouvement, la durée, la nature de l'action, etc.). De plus, les changements dans la valence sont abrupts au début du tableau, car nous croyons que l'effet d'une augmentation ou d'une diminution d'intervalles sur le fonctionnement perceptuel d'un mouvement apparent n'est probablement pas graduel, mais plutôt binaire. En d'autres mots, soit l'animation fonctionne et nous l'aimons (valence positive), soit le mouvement est étrange et ambigu et nous ne l'aimons pas (valence négative). Si notre hypothèse est valide, au lieu d'être un processus progressif, la perception du mouvement apparent, tout comme la perception du papillotement (chap. 3), opère par seuils. Nous pensons néanmoins qu'à partir du moment où le seuil minimal de courte portée a été franchi et que le mouvement fonctionne (valence positive), la perception est moins intransigeante. Puisque l'effet stroboscopique est causé par le fait que la position d'un objet animé en mouvement ne se chevauche pas d'une image (Lasseter, 1987, p. 37), l'animatrice doit ajouter de plus en plus d'images jusqu'à ce qu'une fluidité de courte portée soit atteinte et que le problème de l'ambiguïté perceptuelle soit résolu. Une fois ce seuil franchi, la valence positive d'un mouvement animé de courte portée peut dès lors être augmentée de manière graduelle par l'utilisation de certains principes d'animation, dont l'exagération (n° 10) et les autres principes d'animation. Voilà

pourquoi la pente à la figure 5.3 est moins escarpée entre l'animation de courte portée et l'animation de courte portée qui est exagérée. La nature polarisée des mouvements apparents peut non seulement être observée en animant, mais aussi lors de la réalisation d'une animatique[4]. Si celle-ci est composée des images du scénarimage qui sont présentées de manière successive, les mouvements fonctionnent, car ils sont de longue portée. Par contre, en essayant de les rendre plus fluides, l'artiste risque de produire des mouvements intermédiaires qui cessent d'être plaisants. À moins d'animer tous les mouvements représentés dans l'animatique, ce qui va à l'encontre de l'objectif de cet outil de prévisualisation, il est important d'établir quels éléments resteront statiques, quels éléments bougeront et quel sera le degré de fluidité des mouvements. Nous reviendrons à l'hypothèse de la « vallée de l'ambiguïté apparente » au sein du chapitre 6, lorsqu'il sera question de la « vallée de l'étrangeté » (la théorie dont elle tire son nom), et au chapitre 7, car elle peut s'appliquer à un ensemble de phénomènes animés.

5.1.1 Combler le fossé de la vallée de l'ambiguïté apparente

Pour créer un mouvement réaliste, l'animatrice doit s'assurer qu'il n'y ait pas trop d'espace entre les intervalles. Elle peut réduire cet espace en comblant le fossé de la vallée de l'ambiguïté. Il est intéressant de comparer le travail de l'animatrice à celui du plâtrier, car les deux métiers cherchent à produire des effets uniformes. En revêtant un mur de plâtre, le plâtrier voudra ainsi s'assurer que la surface soit parfaitement lisse ou cherchera à créer une texture sur l'ensemble du mur. Ces effets fonctionnent, parce qu'ils sont cohérents. Ce qui perturbe le résultat global est un mur lisse qui est sillonné par une ou deux fissures ou un plafond taché et bosselé à un seul endroit par un dégât d'eau. Le parallèle avec l'animation est clair. Un mouvement de courte portée doit sembler naturel et le mouvement de longue portée doit demeurer saccadé. Les états intermédiaires, qui sont ambigus, doivent également être évités, puisque la perception ne supporte pas l'ambiguïté. Pour comprendre l'effet perceptuel produit par les trois types de mouvement apparent (long, ambigu et court) sur une animation de personnage, veuillez consulter la vidéo suivante : https://youtu.be/bl9ftaKfVg0.

Même si elle doit occasionnellement recréer un mouvement de longue portée, une animatrice cherche généralement à produire des animations de courte portée qui sont fluides. La façon la plus simple et efficace de transformer une animation préliminaire de longue portée en une animation réaliste de courte

[4] L'animatique (*animatic*) est, dans sa forme la plus élémentaire, un scénarimage en mouvement (Beckerman, 2003, p. 138). Les images fixes du scénarimage sont donc présentées en séquence. La durée de chacun de ces dessins est modifiée pour reproduire le rythme de l'action et du montage. Les transitions sont ajoutées, les mouvements de caméra sont simulés et les effets sonores sont ajoutés. Le produit final est une maquette audiovisuelle du film.

portée est de remplir, comme un plâtrier, les trous laissés entre les positions clés. Cette astuce rend le mouvement plus fluide, mais a aussi l'effet de le ralentir lorsque la durée d'affichage de chaque image demeure la même. Si nous ajoutons des dessins, il faut donc diminuer la durée d'affichage de chacune de ces images pour maintenir la vitesse désirée. À l'inverse, si l'animateur doit représenter un mouvement plus rapide, il peut élargir la distance, mais cette stratégie risque de créer un mouvement saccadé de longue portée. Puisque le mouvement apparent de longue portée est saccadé et rapide, comment est-il possible d'animer une action qui est à la fois fluide et rapide ? Jusqu'à maintenant, il a été question de la distance séparant les intervalles, car il est relativement simple de décrire et d'illustrer le rôle de cette variable. Par contre, comme nous l'avons vu au chap. 4, le rapport entre la distance et la durée est au cœur du mouvement animé. Bien que la confusion entourant les lois de Korte illustre le fait que ce rapport n'est pas encore compris par les scientifiques, l'animateur dispose de quelques outils pour équilibrer la fluidité et la vitesse d'un mouvement apparent. Le premier qui s'applique autant à l'animation qu'au cinéma en PVR est la cadence. Après avoir examiné celle-ci à la section 5.2, nous traiterons du deuxième outil : la compression et l'étirement (principe d'animation n° 1) à la section 5.4.

5.2 La cadence : histoire

Bien que la fréquence et la cadence soient deux paramètres cinématographiques interconnectés, ils sont des phénomènes distincts, car leurs analogues visuels (c'est-à-dire la luminosité pour la fréquence et la perception du mouvement pour la cadence) sont traités par deux systèmes perceptuels indépendants (voir chapitres 3 et 4). Par conséquent, la fréquence de projection doit être relativement élevée (60 Hz et +) pour que le papillotement disparaisse (Sekuler et Blake, 2006, p. 331), tandis qu'il est possible de voir du mouvement à des seuils beaucoup plus bas (Zacks, 2014, p. 159). Toutefois, même si une forme de mouvement apparent est perçue à 1 ou 2 i/s, celle-ci est saccadée et est ainsi inadéquate pour le cinéma commercial qui est fondé sur une imitation de la réalité. Pour créer une expérience filmique agréable et convaincante, la cadence doit donc être suffisamment élevée pour produire des mouvements apparents de courte portée qui sont fluides. Si un des objectifs perceptuels du cinéma est effectivement de produire l'expérience visuelle la plus véridique possible et que la fluidité des mouvements augmente le nombre d'images par seconde, pourquoi le cinéma emploie-t-il des cadences de seulement 24 ou de 30 i/s ? Ne serait-il pas préférable de travailler avec des cadences encore plus élevées ? La raison pour laquelle les hautes cadences, appelées HFR (« high frame rate »), en anglais, ne sont pas utilisées plus souvent est financière. La pellicule, vendue au pied, est dispendieuse, et plus la cadence est élevée, plus il faut filmer d'images pour capter une seule seconde d'action. Une scène tournée en 48 i/s coûte deux fois plus cher à

produire que si elle est filmée en 24 i/s, car elle requiert deux fois plus d'images et de pellicule. Avant le développement du cinéma numérique, le coût de la pellicule demeurait un facteur tellement déterminant que la cadence n'était pas toujours exprimée en images par seconde, mais en nombre de pieds de pellicule par minute[5] (« ft/m », en anglais ou pi/min, en français) (Konigsberg, 1997, p. 153). À l'ère du cinéma muet, il faut un pied de pellicule pour capter une seconde d'action (Lutz, 1998 [1920], p. 57). Opérant à 16 i/s, ce vieux système est ainsi décrit comme projetant 60 pi/min et la cadence standard de 24 i/s correspond à 90 pi/min (Anderson, J. D., 1998, p. 55; Kellogg, 1955; Pointer, 2017, p. 66). Pour créer un produit financièrement viable, l'industrie cinématographique a toujours cherché à employer la cadence optimale qui maximise la fluidité du mouvement apparent tout en minimisant les coûts de production (main-d'œuvre, pellicule, etc.).

Tel que décrit au chapitre 3, les premiers films de Thomas Edison ont des cadences qui se situent entre 40 et 50 i/s (Richardson, 1967 [1925], p. 24) pour que le papillotement soit éliminé[6] (Anderson, J. D., 1998, p. 55). Ces cadences élevées coûtent trop cher et sont abandonnées pour un standard de 16 i/s (Anderson, J. D., 1998, p. 55). Cette valeur est choisie, car les mouvements d'une scène filmée à 16 i/s sont relativement fluides lors de la projection. De plus, une partie du papillotement est éliminée si le projecteur est muni d'un obturateur à trois lames[7]. Si le mouvement est censé être crédible à 16 i/s, pourquoi les personnages des vieux films muets semblent-ils bouger un peu trop rapidement à l'écran ? L'explication la plus simple est que les projecteurs développés à la fin des années 1930 pour montrer les films sonores créés en 24 i/s ne peuvent plus rouler à 16 i/s. Puisque les vieux films muets, conçus pour être montrés à 16 i/s, doivent être projetés à 24 i/s sur ces nouvelles machines, ils sont 50 % plus rapides (Zacks, 2014, p. 159). Pour les voir à leur vitesse originale, il faut être conscient de cette différence et les projeter en utilisant le plus vieux modèle de projeteur. Si la copie visionnée est numérique, il faut aussi s'assurer que le changement de cadence ait été effectué lors du transfert d'un support analogue à un support numérique.

[5] Bien que le sens du mot anglais *footage* soit venu avec l'usage pour signifier l'ensemble du matériel qui a été filmé, l'origine du terme vient probablement du fait que la pellicule est mesurée en pieds. Dès 1917, par exemple, *footage* est défini dans le glossaire des *Transactions of the Society of Motion Picture Engineers* (Jenkins, C. Francis et Herbert, 1918) comme étant : « Film length measured in feet » (p. 76).

[6] Rappel : même si les kinétographes d'Edison captent des mouvements à des cadences élevées, les kinétoscopes d'Edison ne peuvent pas projeter les films aussi rapidement qu'ils ont été tournés. Par conséquent, les mouvements semblent tous un peu trop lents lors du visionnement (Armat, 1967, p. 18).

[7] Si chacune des 16 images est projetée trois fois par seconde, une fréquence de 48 Hz est obtenue. Cette valeur est néanmoins sous le seuil optimal qui commence à 55 Hz (Sekuler et Blake, 2006; Woo et Rieucau, 2011, p. 1678).

Cette discussion met en lumière le fait que la cadence du tournage et la fréquence de projection sont des paramètres interdépendants pouvant être manipulés pour produire certains des premiers effets visuels.

Nous avons établi que les films muets ont officiellement une cadence de 16 i/s et une fréquence de 48 Hz, mais ces valeurs sont approximatives pour les raisons suivantes. Jusqu'aux années 1930, les caméras et les projecteurs sont opérés manuellement par un caméraman ou un projectionniste qui doit continuellement tourner une manivelle à une vitesse constante. Le caméraman, par exemple, doit effectuer deux tours complets de la manivelle s'il souhaite capter une seconde d'action à 16 i/s (Lutz, 1998 [1920], p. 57)[8]. Il est presque impossible de tourner une manivelle à un rythme constant tout au long du tournage ou de la projection, car la vitesse peut varier en fonction de l'expérience et de l'énergie du caméraman ou du projectionniste. Le nombre d'images captées par seconde peut aussi dépendre des directives du réalisateur souhaitant produire certains effets visuels relevant de la vitesse. Les deux effets décrits ci-bas reposent sur le principe qu'il est possible de varier la vitesse durant le tournage, tout en gardant la vitesse de projection constante (Monaco, 1981 [1977], p. 76; Rogers, S., 2013, p. 150). Pour donner l'impression que les choses bougent plus vite, il suffit de filmer une scène en tournant la manivelle un peu plus lentement que la normale. Puisque moins de photogrammes ont été captés, l'action est plus rapide lors de la projection[9]. Si, par exemple, huit images ont été filmées par seconde, l'action semble deux fois plus rapide lorsqu'elle est montrée à 16 i/s. Cette technique, appelée *fast-motion photography*, est inventée par Mack Sennett (1880-1960), qui est le réalisateur et producteur américano-canadien des Keystone Kops[10]. Sennett utilise cet effet à bon escient dans les poursuites automobiles comiques de cette série (Mast et Kawin, 2003, p. 84-85; Netzley, 2001, p. 122; Passek, 2001, p. 1156-1157)[11]. En contrepartie,

[8] Le calcul de Lutz est le suivant. Le cinéma muet opère à 16 i/s ou à un pied par seconde. Puisqu'il faut un tour complet de la manivelle pour capter ½ pied de pellicule, le caméraman doit tourner la manivelle deux fois pour capter un pied ou une seconde d'action (Lutz, 1998;1920, p. 57).

[9] Le cinématographe et ancien caméraman Glen MacWillams (1898-1984) rapporte également qu'il arrive fréquemment qu'un caméraman ait à changer la vitesse du tournage tout en filmant le même plan. Un plan peut donc débuter à 16 i/s et passer à 8 i/s dès qu'une scène de poursuite s'amorce (Tibbetts, 2015, p. 11).

[10] Les Keystones Kops désignent un groupe de comédiens de films muets qui incarnent des policiers incompétents et humoristiques qui font leurs propres cascades. Le nom « Keystone » vient du nom de la compagnie de production qui produit ces films (Konigsberg, 1997, p. 203-204). Le style d'humour physique (appelé *slapstick*, en anglais) de ces films a influencé les premiers animateurs, dont Chuck Jones qui, dans sa jeunesse, vit près du studio où la série est filmée. Jones rapporte même qu'il a joué comme extra dans ces films (Furniss, 2005, p. 45-46; 72-73).

[11] En captant des images de manière intermittente, par exemple une image par seconde, plutôt que de manière continue, il est possible de capter et de voir des mouvements qui sont trop lents pour être perçus normalement (c'est-à-dire à l'échelle temporelle humaine). Cette technique, appelée *time-lapse photography*, permet de filmer la croissance d'une plante, le flot de la circulation humaine et véhiculaire dans un milieu urbain, ainsi que des phénomènes astrologiques, géologiques et météorologiques (Monaco, 1981 [1977], p. 76-77).

si le caméraman tourne la manivelle rapidement, plus d'images sont filmées par seconde. Lorsque ces scènes sont projetées à la fréquence normale (qui est plus lente), un effet de ralenti, communément appelé *slow motion* en anglais (Konigsberg, 1997, p. 367-368), est produit. Par exemple, une scène filmée à 48 i/s est deux fois plus lente lorsqu'elle est projetée à 24 i/s (Netzley, 2001, p. 83). L'effet est employé généralement dans des scènes à teneur émotionnelle élevée (Hammerschmidt et Wöllner, 2018), comme dans une scène d'action (p. ex. *The Matrix* et *A Clockwork Orange* [Kubrick, 1971]), ou lors de moments plus émotionnels (p. ex. *Forrest Gump* [Zemeckis, 1994]). Les effets de vitesse sont illustrés au tableau 5.2.

Tableau 5.2 : Effets de vitesse produits par la cadence

	Cadence de la capture		**Effet de vitesse** (Projection à cadence normale)
	Moins d'images		Accéléré
	Plus d'images		Ralenti

Il est possible que le ralenti cinématographique simule l'effet qu'ont les émotions intenses sur notre perception du temps. Les études démontrent que le temps semble ralentir quand nous sommes agités ou lorsque nous éprouvons des émotions intenses (Craig, 2009; Hammond, 2013, p. 67-70). Stetson *et al.* (2007) précisent cependant que l'impression que nous ressentons du temps qui décélère durant des moments émotionnels intenses n'est pas causée par une meilleure résolution temporelle, mais est plutôt une illusion associée à la formation de souvenirs qui sont denses. Donc, bien que nous ayons l'impression que la perception se met en surchauffe et que le temps ralentit lorsque nous vivons un moment intense, nous n'avons pas acquis l'habileté de traiter plus d'informations par seconde (p. ex. voir les ailes d'un colibri battre). Pour ainsi dire, notre caméraman mental ne capte pas plus d'images par seconde. Ce sentiment est une illusion temporelle créée par le fait que des moments intenses forment, grâce à l'amygdale[12], des souvenirs plus détaillés, et plus nous nous souvenons d'un événement, plus sa durée augmente (Eagleman, 2008, p. 133-134).

[12] L'amygdale est une région du cerveau qui, avec l'hippocampe, est associée aux émotions et à la mémoire olfactive (Wolfe *et al.*, 2019, p. G-2).

En plus de la variabilité dans la cadence lors du tournage, il y a également une variation dans la vitesse de projection à l'ère du cinéma muet. Edward Kellogg (1955) rapporte que les projectionnistes avaient parfois tendance à tourner la manivelle plus rapidement pour écourter les films. Ceci permettait au propriétaire du cinéma d'ajouter une séance de plus par jour et de réduire le papillotement (p. 299). Bien qu'il semble que le spectateur ait été sensible au papillotement dès le début du cinéma (chap. 3), les variations dans la vitesse des mouvements apparents ne semblent pas causer de problèmes auprès du public. Se peut-il que les spectateurs cinématographiques d'antan soient moins perspicaces, sophistiqués ou difficiles qu'ils le sont aujourd'hui ? En fait, puisque nous n'avons pas consulté les écrits à ce sujet, nous ne savons pas si les variations de vitesse nuisaient à l'expérience cinématographique ou si elles étaient même détectées. Nous croyons cependant qu'une indifférence aux changements de vitesse (si c'est le cas) n'est pas due à un manque de raffinement ou d'acuité perceptuelle de la part du public lors des premières décennies du cinéma, mais résulte plutôt de la tolérance du système traitant le mouvement. De surcroît, si ces écarts de vitesse avaient été dérangeants, nous estimons que les studios et techniciens du cinéma auraient réglé le problème, comme ils ont minimisé le problème du papillotement en ajoutant, notamment, une troisième lame aux obturateurs (voir chap. 3). Puisque les variations dans la vitesse de mouvements sont tolérées ou passent inaperçues, l'industrie ne cherche pas à uniformiser la cadence ou la fréquence jusqu'à la fin des années 1920.

L'arrivée du cinéma sonore[13] représente une innovation technologique qui oblige l'industrie à standardiser la vitesse de projection. L'image et le son doivent dorénavant être parfaitement synchronisés durant la capture[14] et lors de la projection. Mais quelle est la cadence optimale pour que le son et le mouvement fonctionnent de concert ? D'un point de vue pratique et économique, la solution idéale pour l'industrie aurait sûrement été de ne rien changer et de garder une cadence de 16 i/s. Malheureusement, cette cadence n'est pas suffisante sur le plan sonore, car les hautes fréquences ne peuvent pas être captées adéquatement et de petites différences de vitesse semblent causer des fluctuations agaçantes (Anderson, J. D., 1998, p. 55). À la suite d'essais et d'erreurs, les techniciens de la compagnie Western Electric découvrent que la qualité du son est satisfaisante à partir de 24 i/s (90 pieds/m). Le passage de 16 à 24 i/s

[13] L'ère sonore au cinéma débute généralement avec la sortie du film *The Jazz Singer* (Crosland, 1927) par les studios Warner Brothers. Le film, considéré comme le premier long-métrage sonore, contient à la fois des scènes muettes et des scènes avec sons. L'une d'entre elles met en scène le personnage principal, joué par Al Jolson déguisé en *black face*, qui chante une chanson en s'accompagnant au piano.

[14] À l'ère du cinéma parlant, nous supposons que les effets de vitesse (ralenti et accéléré) peuvent encore être produits lors du tournage, mais, si c'est le cas, le son capté lors du tournage doit être retravaillé ou réenregistré.

a d'autres avantages. Sur le plan technique, la nouvelle cadence est compatible avec les deux systèmes sonores employés à l'époque pour diffuser le son durant la présentation d'un film[15] (Kellogg, 1955, p. 299). Au niveau perceptuel, le papillotement est éliminé[16] et les mouvements sont plus fluides, car l'ajout de huit images ou dessins de plus par seconde crée des mouvements apparents de plus courte portée. 24 i/s devient ainsi le standard de l'industrie, car la cadence est un compromis entre le coût de la pellicule, la qualité du son et la qualité du mouvement.

5.2.1 La cadence

À moins de tourner des effets visuels ou de vouloir capter des mouvements rapides, peu d'attention est accordée à la cadence en PVR, car ce paramètre fixe ne change pas au courant d'une production. En animation, par contre, trouver la cadence optimale est une question constante, car la fluidité des mouvements dépend du nombre d'images par seconde. Puisque l'animatrice doit produire, manipuler et gérer chacune des images qui apparaissent à l'écran, plus la cadence est élevée, plus les frais de la main-d'œuvre s'ajoutent à ceux de la pellicule[17]. Le fait que la productivité journalière d'une animatrice est parfois mesurée par le nombre de pieds de pellicule qu'elle anime par jour (White, T., 2006, p. 204-205) et que la durée d'une animation n'est pas minutée, mais mesurée en pieds (Williams, R., 2001, p. 71) témoigne de l'importance du *footage* en animation. La façon la plus simple de trouver un équilibre entre la fluidité du mouvement et l'investissement dépensé en temps et en argent est de manipuler la cadence de l'animation. Évidemment, l'animatrice ne peut pas modifier la cadence à laquelle le film est diffusé, car elle est fixée par le support technologique. Un survol des cadences et des fréquences associées aux différents supports technologiques est présenté au tableau 5.3.

[15] La première technique, appelée *sound on disk*, consiste à enregistrer la trame sonore sur un disque et de jouer ce dernier durant la présentation. Appelée *sound on film*, la deuxième méthode, qui devient éventuellement le standard de l'industrie, est d'intégrer la bande sonore directement sur la pellicule (Kellogg, 1955, p. 299).

[16] Rappel : même avec un obturateur à trois lames, un film ayant une cadence de 16 i/s a une fréquence de 48 Hz inférieure au seuil de fusion du papillotement qui est de 60 Hz. Un film en 24 i/s n'a aucun papillotement, car sa fréquence est de 72 Hz (24 i/s x 3 = 72 Hz).

[17] Nous verrons également à la section 5.2.3 que les coûts associés à des cadences élevées n'ont pas diminué à l'ère numérique, où la pellicule a presque disparue.

Tableau 5.3 : La cadence des supports technologiques

Support technologique	Cadence	Description
Film muet	16 i/s	Puisque le mouvement apparent est relativement réaliste à 16 i/s, et que la pellicule est chère, cette cadence est employée jusqu'à l'arrivée du son. Il y a cependant encore du papillotement lors de la projection, car le seuil de 60 Hz n'est pas atteint.
Film sonore	24 i/s	Depuis la standardisation nécessitée par l'avènement du cinéma sonore, 24 i/s est la cadence associée au cinéma[18]. Un projet numérique peut également avoir une cadence de 24 i/s (Kellogg, 1955, p. 299).
Vidéo NTSC[19]	30 i/s	Format numérique employé en Amérique du Nord (Konigsberg, 1997, p. 271) qui est établi comme le standard de la télévision à la fin des années 1930 (Jensen, 1967, p. 246).
Vidéo PAL[20]	25 i/s	Format numérique employé en Europe (Jensen, 1967, p. 247; Konigsberg, 1997, p. 284)
Web	12[21] i/s	Avant que les connexions Internet à plus haut débit deviennent la norme, les animations qui sont destinées pour le Web sont réalisées en 12 i/s pour faciliter la diffusion en continu et parce que les mouvements demeurent fluides (White, T., 2006, p. 486).

Bien que l'animateur n'ait pas le pouvoir de manipuler la cadence du support audiovisuel, il peut néanmoins contrôler la cadence des mouvements qu'il anime en exploitant le fait que notre seuil cinétique est relativement bas. Les animateurs découvrent très tôt dans l'histoire du médium qu'il n'est pas nécessaire de faire autant de dessins qu'il y a de photogrammes par seconde pour produire des mouvements convaincants. En d'autres mots, même si la cadence du support cinématographique est de 16 i/s ou de 24 i/s, les animateurs réalisent qu'ils n'ont pas besoin de produire 16 ou 24 dessins distincts par seconde pour que les mouvements soient fluides. Ils peuvent plutôt créer la moitié des images et répéter chacune de celle-ci en la filmant deux fois ou trois fois lors du tournage. En dédoublant chaque image, huit dessins peuvent être utilisés pour représenter une seconde de mouvement à l'écran en 16 i/s (8 x 2 = 16) et 12 dessins peuvent être employés pour représenter une seconde de mouvement à l'écran en 24 i/s (12 x 2 = 24). Le fait que la même image puisse être captée sur pellicule à une ou plusieurs reprises explique pourquoi une animation est communément décrite dans l'industrie comme étant *animated on ones* (animée à un, en français) ou *animated on twos* (animée à deux) (Besen et Hallett, 2008, p. 120; Jones, A. et Oliff, 2007, p. 295; Thomas et Johnston, 1981, p. 65). Lorsque l'animateur anime à un, chaque dessin

[18] Il faut rappeler qu'un projecteur ou un écran doit afficher chacune de ces images deux ou trois fois pour éliminer le papillotement de la lumière (voir chap. 3).

[19] NTSC est l'abréviation de National Television Standards Committee (Konigsberg, 1997, p. 271).

[20] PAL est l'abréviation de « *phase alternative line* » (Konigsberg, 1997, p. 284).

[21] Nous verrons prochainement que les mouvements de caméra et les transitions de manière générale (p. ex. fondus) doivent généralement se faire en 24 i/s pour éviter les effets stroboscopiques.

est capté une seule fois sur la pellicule. Lorsque l'animateur anime à deux, chaque dessin est capté deux fois sur la pellicule. Bien que les termes animer à un ou animer à deux soient communs en animation traditionnelle, l'emploi de logiciels a introduit une autre façon de décrire la cadence. Celle-ci met l'accent sur le nombre de dessins produits par seconde, plutôt que de décrire le nombre de fois qu'un dessin est réutilisé. Puisque 12 dessins sont utilisés pour représenter une seconde de mouvement en 24 i/s, la séquence animée est décrite comme ayant une cadence de 12 i/s. Suivant la même logique, une animation animée à un a une cadence de 24 i/s lorsque le projet est aussi en 24 i/s. Animer à deux sauve énormément de temps et d'argent, car le fait de dédoubler chaque image coupe le nombre de dessins de moitié. De surcroît, les mouvements à deux produisent des animations fluides lorsque le film a une cadence de 24 i/s. La preuve de ceci est le fait que la plupart des dessins animés classiques produits durant les années 1940-1960 par les studios Warner Brothers (p. ex. Bugs Bunny, Daffy Duck, etc.) et MGM (p. ex. les films mettant en vedette Wolf and Girl) sont animés à deux (ou à 12 i/s).

Quand les animateurs en viennent-ils à la réalisation qu'il est possible de produire des mouvements convaincants en limitant le nombre d'images produites ? Bien que nous n'ayons pas trouvé de mentions explicites quant à la cadence des premiers films d'animation, E. G. Lutz suggère que, dans les années 1910, les artistes travaillant dans les premiers studios d'animation utilisent déjà huit dessins par seconde au lieu de 16 dessins (Lutz, 1998 [1920], p. 76-77)[22]. Si la description de Lutz est exacte, les premiers dessins animés commerciaux sont donc animés à deux, parce que huit dessins sont employés à une cadence de 16 i/s. Une analyse sommaire de vieux films animés semble confirmer cette hypothèse, car à l'exception de certaines œuvres, les mouvements des films produits avant les années 1920 sont généralement saccadés. Bien que ce manque de fluidité soit exacerbé par l'inexpérience des premiers animateurs, il est aussi probable que l'effet soit causé par le fait que les animateurs animent à deux en 16 i/s et ne produisent que huit dessins par seconde de mouvement. Nathan et Crafton (2013) confirment dans « The Making and Re-making of Winsor McCay's *Gertie* (1914) » que les animateurs travaillant dans les premiers studios ont vite compris qu'ils peuvent répéter leurs dessins deux ou trois fois, animant ainsi à deux ou à trois (p. 43). Une exception notable à cette pratique est le travail de Winsor McCay qui, en produisant 16 dessins par

[22] Lutz ne décrit pas la cadence des premiers films comme étant à un ou à deux. Il exprime plutôt la durée de chaque dessin à l'écran en ce qui concerne le nombre de tours de manivelle requis pour la filmer. Puisqu'un tour de manivelle de caméra capte un photogramme et que Lutz conseille de tourner deux fois la manivelle par dessin, nous concluons que les animations de l'époque qu'il décrit sont animées à deux.

seconde d'animation, anime à un (p. 43). La fluidité des mouvements dans ses premiers films[23] (p. ex. *Little Nemo* [1911] et *Gertie the Dinosaur* [1914]) témoigne de cette pratique. Bien que cette cadence nécessite plus de travail de la part de McCay, ce dernier est en mesure de réutiliser ses dessins, car il emploie de nombreux cycles. Il faut noter que malgré leur fluidité, les animations de McCay sont quelque peu mécaniques, car il n'emploie pas les accélérations, les décélérations et la variabilité cinétique qui donnent à un mouvement la vivacité et la spontanéité que nous associons à un mouvement produit par une entité vivante ou animée. En ce sens, McCay, malgré son talent inouï, n'a pas tout à fait atteint le troisième palier du mouvement apparent (voir figure 5.1).

Il est logique de penser que jusqu'à l'arrivée du cinéma sonore, les animateurs continuent d'animer à un ou à deux en 16 i/s, en produisant 8 ou 16 dessins par seconde. Toutefois, la quantité de temps qu'il a fallu à l'industrie de l'animation pour passer de 16 à 24 i/s n'est pas claire. Dans *How to Make Animated Cartoons: The History and Technique* (1941), un des rares livres publiés sur l'art de l'animation avant le dernier quart du XXe siècle, Nat Falk (1898-1989) décrit un panoramique[24] qui inclut un cycle de marche. Il précise que le cycle composé de 16 dessins dure sur une longueur de un pied de film, ce qui correspond à une seconde lorsque la cadence est de 16 i/s (1941, p. 46). La suggestion que la cadence « muette » de 16 i/s est encore employée en animation en 1941 est douteuse pour plusieurs raisons. D'abord, ceci impliquerait que les studios d'animation aient refusé de passer à 24 i/s pendant plus de dix ans. Il est normal qu'il y ait une certaine réticence à faire le saut, car la nouvelle cadence représente plus de travail en animation et le son est perçu par certains comme une mode passagère (Crafton, 1997, p. 165, 171 et 287). Toutefois, continuer de produire des films muets en 16 i/s jusqu'au début des années 1940 semble improbable et suicidaire, car nous croyons que le succès de Mickey Mouse dans *Steamboat Willie* (1928) et le sort de Félix le Chat auraient convaincu les studios d'animation que le futur du cinéma roule aux rythmes sonorisés de 24 i/s.

[23] Puisque deux des derniers films de McCay sont fragmentaires (*The Centaurs* [1921] et *Flip's Circus* [1921]), il est difficile d'établir avec certitude s'il anime encore « à un » à la fin de sa carrière. Par contre, une analyse sommaire des mouvements contenus dans les deux films qui ont survécu (c'est-à-dire *Dreams of the Rarebit Fiend: The Flying House* [1921] et *Dreams of the Rarebit Fiend: The Pet* [1921]) indique qu'à part un petit nombre de mouvements saccadés qui ont probablement été animés à deux ou à trois, il semble que McCay continue d'animer à un.

[24] En animation traditionnelle un « pan » ou panoramique est un plan créé en glissant l'arrière-plan ou le décor sous la caméra qui est fixe (Beckerman, 2003, p. 287)+ P SOURCE). L'effet de mouvement est donc créé en bougeant l'art plutôt que la caméra. Une explication cognitive de ce phénomène, appelé *induced motion* en anglais, sera fournie à la fin de ce chapitre.

En 1926, Félix le Chat est le personnage cinématographique, réel ou fictif, le plus célèbre au monde, après Charlie Chaplin (Crafton, 1993, p. 317). Malheureusement pour Félix, Patrick Sullivan (1885-1933), le producteur de la série, attend deux ans après la sortie de *The Jazz Singer* (Crosland, 1927) avant de mandater que les dessins animés de Félix soient sonorisés (Mitenbuler, 2020, p. 97-98). Pendant cette période, Mickey Mouse détrône Félix comme la vedette de l'animation après la sortie de *Steamboat Willie*, qui est le premier film sonore à recevoir une distribution générale (Furniss, 2016, p. 94). Les animateurs Max et Dave Fleischer, qui dirigent Out of the Inkwell Films, un des grands studios d'animation à l'époque, sont aussi conscients de la dimension sonore dans un film, car leurs propres animations sonorisées précèdent *The Jazz Singer* et *Steamboat Willie.* Dès 1924, les deux frères commencent à produire *Ko-Ko Song Car-Tunes* pour l'éditeur de musique Charles K. Harris[25]. Le statut des films ou *song reels* de cette série est ambigu, car, au lieu de raconter une histoire, les paroles d'une chanson, écrites en grosses lettres, défilent lentement à l'écran de droite à gauche sur une bande horizontale. Pendant qu'une mélodie (sans paroles) accompagne le film, une balle ou un personnage animé saute de mot en mot pour indiquer aux spectateurs quelles paroles chanter (Handled Novelty, 1924, p. 11; Pointer, 2017, p. 56). Bien qu'ils aient une trame sonore, ces *song reels* ne sont pas reconnus comme étant les premiers films ou les premières animations sonorisées, probablement parce qu'ils ne sont pas des films narratifs dans le sens traditionnel du terme, mais sont plutôt une forme de protokaraoké. Malgré le succès mitigé des *Ko-Ko Song Car-Tunes* (Fleischer, R., 2005, p. 43-44), Max Fleischer, qui est conscient des avancées technologiques, sait que l'industrie passera au son. Avant de fermer, Out of the Inkwell Films produit des versions sonorisées de leurs vieux films dès 1929 (Pointer, 2017, p. 59). Et les deux frères se remettent immédiatement à produire des animations sonores au sein de leur nouveau studio : Fleischer Studio Inc., quelques mois après la sortie de *Steamboat Willie* (p. 62). Puisque la production d'un film sonorisé nécessite l'adoption de la cadence qui y est associée, nous assumons que les Fleischer travaillent dès 1929 en 24 i/s. Dix ans plus tard, Max Fleischer confirme que ses films ont une cadence de 24 i/s[26] dans *Fleischer Studios – Standard Production Reference* (1940, p. 50), le guide donné à ses employés. De plus, il précise dans le

[25] Le premier court-métrage de la série à être conçu avec du son n'est pas *My Old Kentucky Home* (Fleischer, D., 1926 [muet]/1928 [son]) comme il est parfois cité dans les écrits (p. 43), mais *Mother Pin a Rose on Me* (Fleischer, D., 1924). Roy Pointer note que la version de *My Old Kentucky Home*, durant laquelle le personnage encourage les spectateurs à chanter en disant : « Follow the ball, and join in, everybody! » date de 1929 et non de 1926. La version originale de 1926 n'avait pas de musique ou de dialogue. Le dialogue et la musique synchronisés ont donc été ajoutés à la version muette en 1929 après le départ des Fleischer du projet (Pointer, 2017, p. 59).

[26] Fleischer confirme l'importance des coûts associés à la pellicule, car il exprime la cadence d'abord en termes de pieds, ensuite en nombre d'images. Il écrit : « All timing is based on the speed with which film runs through the projector - a rate of 90 feet per minute, or the equivalent of a foot and a half per second. Since a foot of film has 16 exposures, this makes 24 exposures per second » (p. 50).

même ouvrage que toute animation doit être animée à deux, à moins que les mouvements soient très rapides ou que le personnage ait à interagir avec les éléments d'un mouvement de caméra qui est animé à un. Il écrit :

> Instead of planning animation to be exposed on ONES, leaving TWOS the exception to the rule, ALL ANIMATION SHOULD BE PLANNED TO BE EXPOSED ON TWOS, AND ONES SHOULD BE THE EXCEPTION. (p. 8, surlignage et majuscules préservés)

Puisque Disney et les Fleischer ont probablement adopté une cadence de 24 i/s de manière permanente à la fin des années 1920, nous supposons que Falk (1941) cite probablement de l'information désuète lorsqu'il suggère que l'animation opère encore à 16 i/s au début des années 1940 (p. 46). Même si l'arrivée de supports numériques introduit de nouvelles cadences, 24 i/s demeure le standard au cinéma pendant plus de 90 ans. Cette longévité témoigne de la flexibilité à la fois perceptuelle et économique de la cadence.

5.2.2 Le cycle, l'animation pleine et l'animation limitée

L'importance des coûts associés à la cadence illustre le fait que l'animation est à la fois un art et une activité commerciale cherchant à maximiser ses profits. D'après Solomon (1996, p. 34-35), cette dichotomie est apparente dès que des studios d'animation basés à New York commencent à produire des films durant les années 1910. La démarche artisanale des pionniers du nouvel art (p. ex. Stuart Blackton, Winsor McCay et Emil Colh) est ainsi remplacée par l'approche tayloriste qui divise le travail de l'animateur en tâches spécialisées et hiérarchiques dans le but d'optimiser la production et minimiser les coûts (Crafton, 1993, p. 165). Dans *Animated Cartoons: How they are Made, their Origin and Development* (1998 [1920]), Edwin George Lutz, qui est un tenant de cette philosophie de production, encourage l'animateur en herbe à produire le moins de dessins possibles. Il va même jusqu'à déclarer que : « of all the talents required by anyone going into this branch of art, none is so important as that of the skill to plan the work so that the lowest possible number of drawings need to be made for any particular scenario » (p. 58). Il encourage aussi l'animateur à réutiliser des dessins pour extraire le plus de mouvements possible à partir du moins d'images produites (p. 59). Une façon d'atteindre cet objectif est de créer des mouvements cycliques, telles des marches et des courses, à partir d'une dizaine de dessins. Ces cycles sont efficaces, car ils peuvent être réutilisés lorsque le même personnage effectue la même action. De surcroît, Dan Torre (2017) propose que le cycle est une manifestation fondamentale de l'animation qui précède le cinéma. Effectivement, les jouets philosophiques qui ont été décrits aux chapitres 1 et 3 et illustrés à la figure 1.6 (p. ex. le phénakistiscope de Plateau) sont essentiellement des dessins animés cycliques (p. 77-80). La nature répétitive des histoires contées dans des séries télévisées fait aussi en sorte qu'un cycle peut être

réutilisé d'une émission à l'autre. Dans la série *Dora the Explorer* (Walsh et Gilford, 2000-2019), par exemple, Dora et Boots doivent consulter une carte au début de chaque épisode. La carte anthropomorphique effectue la même danse et chante la même chanson à chaque fois que les protagonistes la consultent. La création de cycles permet de sauver du temps et de l'argent, mais il est préférable de ne pas l'utiliser à outrance pour les deux raisons suivantes : premièrement, si un cycle n'est pas parfait, la moindre imperfection devient de plus en plus flagrante plus il est répété ; deuxièmement, puisque la différence est le stimulus visuel le plus intéressant (chapitre 1), le danger posé par l'emploi excessif d'un cycle est qu'il perde rapidement sa saillance et cesse de nous intéresser. Il faut donc varier le *timing* ou le rythme des dessins et insérer des variations dans le mouvement pour briser la monotonie qui s'installe rapidement dans une action cyclique[27]. Ce conseil est au cœur du *secondary action* (principe d'animation n° 8), auquel nous reviendrons brièvement au chapitre 7. Pour éviter les problèmes occasionnés par les cycles, il faut l'utiliser avec parcimonie et s'assurer qu'il soit parfait avant de l'employer.

Puisqu'une animation peut ainsi être produite en 24 i/s (à un), 12 i/s (à deux) ou même à 8 i/s (à trois), combien faut-il donc d'images pour produire des mouvements qui « fonctionnent »[28] ? Encore une fois, puisque le cinéma d'animation est un processus laborieux et coûteux, c'est souvent la quantité de ressources à la disposition de la production (humaines, financières, en temps, etc.) qui détermine la qualité et la cadence des animations[29]. Si le budget le permet, une équipe de production souhaite généralement créer des films de la plus grande qualité possible. Pour atteindre cet objectif, les mouvements sont produits à un ou à deux. Ces cadences sont appelées *full animation* (Beckerman, 2003, p. 142). Lorsque les ressources sont restreintes, il faut limiter la qualité des mouvements et produire du *limited animation* (ibid.). Ces mouvements limités sont animés à trois (8 i/s) ou à quatre (6 i/s) et sont généralement employés en série télévisée. Par conséquent, *The Flinstones* (Hanna et Barbera, 1960-1966), *Scooby Doo,*

[27] Bien qu'une série télévisée réutilisera la même séquence d'un épisode à l'autre pour sauver du temps et de l'argent, cette répétition crée aussi des formules routinières qui peuvent être réconfortantes pour l'enfant. Par conséquent, même si l'histoire varie d'un épisode à l'autre, l'enfant saura qu'il y aura des moments qui ne changeront jamais. En utilisant le cycle de cette manière, les créateurs de la série peuvent transformer ces mesures économiques en une forme de rituel audiovisuel participatif.

[28]Bien que nous parlions d'animer 8, 12 ou 24 dessins par seconde, il faut noter que chaque élément à l'écran doit être animé individuellement. Il est donc fort probable qu'une seconde d'animation nécessite beaucoup plus que 12 ou 24 dessins au total, car il faut multiplier le nombre de dessins par le nombre d'éléments qui sont en mouvement à l'écran.

[29] Puisque cette thèse porte sur le mouvement animé, nous accordons beaucoup d'importance au rôle joué par les animations dans un film. Toutefois, la valeur ou la qualité d'un film animé n'est pas limitée à sa cadence ou à la fluidité des animations. Elle peut être mesurée d'autres façons. Par exemple, la qualité de la performance vocale des acteurs aide à donner de la vie à un personnage animé. Il y a aussi la beauté des décors, la musique, le scénario, le design des marionnettes et personnages, le choix des couleurs, l'éclairage, le design sonore, le cadrage cinématographique et les autres éléments constituant la mise en scène et la direction artistique. Un film est donc composé de multiples éléments qui peuvent nuire ou améliorer la qualité du produit.

Where are you! (Hanna et Barbera, 1969-1970), *He-Man and the Masters of the Universe* (Scheimer, 1983-1985) et *Dora The Explorer* emploient une animation limitée, alors qu'un long-métrage classique de Disney est produit en *full animation* (Furniss, 2008, p. 326-327). Dans la plupart des cas, une production emploie un mélange de ces deux approches. Une scène importante est donc animée pleinement (à un ou à deux), alors que les scènes secondaires sont produites dans un style limité. Beckerman appelle ce compromis entre la qualité et le budget *enough animation* (2003, p. 142). La cadence la plus polyvalente est 12 i/s. En occurrence, Max Fleischer souligne qu'en réalité : « […] about 80% of all action can be shot on TWOS without harmful effect to the picture » (1940, p. 8). Il est même possible d'animer certaines actions à trois[30] si les personnages sont très petits. Les mouvements de caméra et les actions plus rapides doivent néanmoins être animés à un, car il faut minimiser la distance entre les intervalles pour éviter des mouvements de longue portée ou ambigus. Puisqu'ils sont censés être subtils et affectent la luminosité de l'image, il est aussi impératif d'animer les transitions cinématographiques (p. ex. ouverture ou fermeture au noir, fondu, fondu enchaîné, à l'iris, etc.) à un. Même si ces conseils continuent de s'appliquer à l'animation traditionnelle 80 ans après que Max Fleischer les ait partagés avec son équipe, qu'en est-il de l'animation par ordinateur ? Sont-ils encore valides et quel est l'effet de la cadence sur une production numérique ?

5.2.3 Cadence et techniques d'animation

Dans un dessin animé traditionnel, chaque position du personnage dans le temps est illustrée par un nouveau dessin. Puisque le personnage doit être recréé de toutes pièces chaque fois qu'il change de position, Dan Torre appelle cette technique *replacement animation* (2017, p. 22). Nous traduisons le terme par « animation par substitution ». Le lien entre la cadence, le budget et la qualité dans ce type d'animation est évident, car une augmentation de la cadence produit de meilleurs mouvements, mais augmente les coûts. La cadence a-t-elle un effet sur le budget et la qualité des mouvements en animation numérique ? Pour répondre à cette question, il faut d'abord décrire une autre façon d'animer.

Au lieu de devoir recréer un personnage de toutes pièces à chaque photogramme, comme dans une animation par substitution, il est possible d'animer un objet en le déplaçant image par image et en filmant chacune de ces positions. Une marionnette, un objet, un personnage en papiers découpés et même un individu peuvent être animés ainsi. Puisque la chose qui est animée n'est pas remplacée d'une image à

[30] Animer à trois correspond à huit dessins par seconde en 24 i/s.

l'autre, mais est plutôt manipulée, Torre appelle cette technique *manipulated animation*[31] (2017, p. 22). L'animation des marionnettes dans *The Nightmare Before Christmas* (Selick, 1993), la pixilation des acteurs dans *Neighbours* (McLaren, N., 1952) ou l'animation d'objets dans *Les possibilités du dialogue* (Švankmajer, 1982) sont des formes d'animations manipulées. Tous ces exemples sont des formes d'animation en volume. Appelée communément *stop motion*, l'animation en volume est un terme général qui désigne l'ensemble des techniques d'animation manipulée où un objet est animé en le faisant bouger de manière incrémentielle image par image[32]. Nous n'avons pas comparé les budgets, mais il demeure aisé de supposer que la cadence affecte le coût d'une animation en volume de marionnettes autant qu'elle affecte le budget d'un dessin animé traditionnel (animation par substitution). Non seulement tout ce qui apparaît à l'écran doit être fabriqué (c'est-à-dire les décors, les marionnettes, leurs armatures, leurs vêtements et les accessoires, etc.), il faut également animer chaque élément en mouvement à la main, un photogramme à la fois. Évidemment, plus il y a d'images par seconde, plus il y a d'éléments à manipuler par seconde. Ces deux formes d'animation, manipulée et substituée, ont été transposées au monde numérique. Par exemple, dans une animation de synthèse en 3D, les personnages sont essentiellement des marionnettes numériques, car elles sont modélisées en trois dimensions (3D) dans un logiciel, comme Autodesk 3 ds Max ou Autodesk Maya. *Toy Story* (Lasseter, 1995), *Despicable Me* (Coffin et Renaud, 2010) et *Ice Age* (Wedge, 2002) sont des exemples d'animations manipulées populaires qui ont été réalisés en 3D. Il est également possible de réaliser de l'animation 2D traditionnelle, par le biais d'un environnement logiciel. De ce fait, il existe deux techniques d'animation 2D assistée par ordinateur. La première est de traiter les images bidimensionnelles de la même façon qu'elles sont animées traditionnellement par substitution. Des dessins sont donc réalisés à la main, soit sur papier ou directement à l'ordinateur. Ces images sont ensuite importées, ordonnées et assemblées dans un logiciel d'animation ou de *compositing*, tels Toon Boom, TVPaint, ou Adobe After Effects. Puisque le logiciel, comme un projecteur, ne fait qu'afficher chacune de ces images en séquence sans les manipuler, cette technique est ainsi une transposition d'une animation traditionnelle par substitution à un support numérique. *Le cortège* (Saint-Gelais et Blanchet,

[31] Bien que cette technique soit décrite comme de « l'animation par mouvement arrêté » dans le *Dictionnaire du cinéma* (Passek, 2001, p. 49), le terme « l'animation manipulée » nous semble plus exact, car tout mouvement est arrêté en animation.

[32] Si l'objet animé est une vraie personne ou un objet, la technique est parfois décrite comme étant de la pixilation. Selon Grant Munro (Robertson, 2012) et le *Dictionnaire du cinéma* (Passek, 2001, p. 49), Norman McLaren invente le terme pour décrire la technique employée pour filmer *Neighbours*. Il ne faut pas confondre la pixilation avec la pixélisation, qui décrit l'apparition des pixels constituant une image numérique (Antidote, 2022r) . Les animations produites en déplaçant des substances diverses (sel, sable, peinture, etc.) image par image sous une caméra sont aussi des techniques de *stop motion*, manipulée. Elles sont décrites comme étant *under-the-camera*, en anglais, et sont identifiées généralement par le nom de la matière qui est animée. Les films de Martine Chartrand (p. ex. *Âme noire* [2002] et *MacPherson* [2012]) ou d'Alexandre Petrov (p. ex. *Le vieil homme et la mer* [1999] sont ainsi de la peinture sur verre et notre film, *Le puits/The Well* [Vaucher, 2013], met de l'avant du sable animé.

2019), *Chasse papillon* (Vaucher, 2001), et *L'homme qui dort* (Sedan, 2009) sont trois exemples de courts-métrages animés ainsi. La deuxième sorte d'animation 2D réalisée à l'ordinateur est une version numérique d'une marionnette en papiers découpés, telle que celles animées par l'animatrice allemande, Lotte Reiniger (1899-1981) dans *Die Abenteuer des Prinzen Achmed* (1926) et par l'animatrice canadienne Evelyn Lambart (1914-1999). Mais au lieu d'être composés de morceaux de carton ou de papier connectés par des épingles, les personnages sont créés, assemblés et animés en employant un logiciel tel Adobe Animate ou Harmony. Comme il a été mentionné au chapitre 2, cette forme d'animation numérique bidimensionnelle est parfois nommée « tradigitale ». (Brooks, 2017). *F Is for Family* (Vaughn *et al.*, 2015-2021), *South Park* et *Carmen Sandiego* (Capizzi *et al.*, 2019-2021) sont trois séries télévisées animées de cette manière. Bien que l'animation tradigitale et l'animation 3D soient des techniques qui diffèrent en matière de volume, elles représentent des techniques d'animation manipulée fondées sur le même principe. Par conséquent, Kenny de *South Park* et Woody de *Toy Story* sont des marionnettes numériques dont les membres sont interconnectés grâce à un système d'articulations (appelé un *rig*) qui émule la structure anatomique et hiérarchique du corps humain. Puisque le personnage est déjà incarné dans le logiciel, il n'a pas à être recréé à chaque fois qu'il change de position. Une animatrice peut le faire bouger virtuellement en modifiant la position de ses membres dans l'espace de la même manière qu'elle bougerait un pantin ou une vraie marionnette articulée. Les positions importantes du personnage numérique sont manipulées et marquées grâce à des positions clés qui enregistrent sur une ligne de temps (*timeline*) les coordonnées spatio-temporelles de chaque position dans le logiciel. Les mouvements animés sont alors produits par des interpolations qui déplacent le personnage et ses membres d'une position-clé (*key frame*) à une autre[33]. Des trajectoires et des courbes ajustables permettent de manipuler la vitesse et le caractère des interpolations et du mouvement. Puisque le personnage « glisse » d'une position clé à une autre dans une animation réalisée par interpolation numérique, il y a relativement peu d'espace entre chaque intervalle lorsque le mouvement n'est pas rapide. Il y a donc plus de chance que le mouvement ainsi animé soit de courte portée et fluide.

Maintenant que ces éléments ont été clarifiés, il est possible de revenir à la question posée plus tôt : la cadence exerce-t-elle autant d'influence sur le budget d'une animation numérique manipulée que sur un dessin animé traditionnel ? Il est logique de croire qu'une animation numérique manipulée est moins dispendieuse à produire qu'une animation par substitution, car les intervalles sont générés

[33] Cette technique, appelée partie par partie, est décrite au chapitre 1 lorsqu'il est question du *straight ahead action and pose to pose* (principe d'animation n° 4).

automatiquement par le logiciel, les mouvements animés ont tendance à être fluides et les coûts engendrés par la pellicule (achat, développement, copie, etc.) sont en grande partie éliminés par les supports numériques. Sans les restrictions budgétaires, les animations 3D et tradigitales peuvent ainsi avoir des cadences beaucoup plus élevées. Bien que cette supposition semble tout à fait raisonnable, il ne faut pas minimiser le fait que la charge de travail s'accroît lorsque les cadences augmentent. Les coûts de production ne sont donc pas liés à la création d'images physiques, comme dans une animation traditionnelle, mais sont plutôt associés à la main-d'œuvre et au travail computationnel requis pour traiter, manipuler, gérer et générer toutes ces images supplémentaires (Giardina, 3 août 2012). Cet aspect de la production peut nécessiter des dépenses considérables, surtout lorsque les films en PVR dépendent d'effets visuels qui sont animés à l'ordinateur. Ces derniers sont très dispendieux à produire[34] et sont parfois tournés à des cadences élevées (Morton, 2017, p. 11). Appelées des HFR (« high frame rate ») en anglais, ces cadences correspondent généralement au double ou à des multiples des valeurs standards. Par conséquent, un HFR pour le cinéma en PVR est de 48 i/s (2 x 24 i/s) et une cadence élevée pour un format numérique, incluant le jeu vidéo, est de 60 i/s (30 i/s x 2). Nous reviendrons lors de la prochaine section à l'effet des HFR sur la perception, mais en termes de coûts, ils peuvent être onéreux. Par exemple, si un élément d'un plan, telle la moustache d'un acteur, doit être modifié ou effacé numériquement, une cadence de 60 i/s représente 60 moustaches qui doivent être effacées par seconde, au lieu de devoir éliminer 24 ou 30 moustaches à des cadences plus basses[35].

Le lien entre la cadence, le budget et la qualité des mouvements animés s'avère moins explicite depuis l'avènement des technologies numériques, mais le principe dominant demeure le même : l'animation étant une activité artistique, énergivore et souvent commerciale, la cadence optimale est un compromis entre ces trois facteurs. Bien qu'il soit plus facile et potentiellement moins onéreux de produire des animations qui ont des cadences plus élevées et, par extension, des mouvements plus fluides, les films animés actuels ont encore des cadences de 24 ou de 30 i/s. Il est raisonnable de supposer que les bénéfices

[34] Par exemple, *Terminator 2: Judgment Day* (Cameron, 1991) comporte 300 effets et coûte environ 102 millions à produire, alors que le budget de *Superman Returns* est d'environ 261 millions et comporte 1 400 effets (Morton, 2017, p. 11).

[35] Cet exemple s'inspire de la production mouvementée de *Justice League* (Snyder, Z., 2017) durant laquelle Henry Cavill, l'acteur jouant Superman, est rappelé après la fin de la production pour refilmer des plans. Puisque Cavill porte une moustache qu'il n'a pas le droit de raser, il faut effacer la moustache numériquement sur tous les nouveaux plans de Superman (Holliday, 2021, p. 400). Heureusement, puisque le film n'est pas tourné en HFR, il y a moins de moustaches à raser, mais le travail épilatoire est néanmoins important.

tirés des HFR en animation n'en valent pas le prix et que le budget qui avait été alloué à la pellicule a été redirigé ailleurs.

Nous avons insisté sur les coûts associés à différentes cadences, mais il est important de noter que celles-ci produisent des effets différents. Dans *Spider-Man : Into the Spider-Verse* (Persichetti *et al.*, 2018) par exemple, bien que la cadence du film soit de 24 i/s, certaines scènes sont animées à des cadences plus basses et variables (p. ex. 12 i/s) pour créer des effets similaires à ceux d'une animation 2D et pour simuler des effets de bande dessinée. De plus, selon les artistes de la compagnie de production Corridor Crew, Miles Morales est animé à 12 i/s au début du film pour montrer qu'il est inexpérimenté, alors que Peter Parker, qui est un Spider-Man aguerri, est animé à 24 i/s. Une fois que Morales maîtrise ses pouvoirs à la fin du film, la cadence des animations passe à 24 i/s (Corridor Crew, 2019).

En animation 2D numérique commerciale, les cadences ne dépassent pas 30 i/s et sont déterminées à la fois par des facteurs techniques et la nature du projet. Sylvain Lavoie, le réalisateur de trois saisons de *F is for Family*, explique que cette série a été animée en 24 i/s, car ses créateurs voulaient produire un effet cinématographique (Lavoie, S., communication personnelle, 31 mai 2021). Il précise que les émissions télévisées réalisées en co-productions avec l'Europe sont animées à 25 i/s (PAL). Il conclut en disant qu'au Québec, les premières émissions d'animation étaient réalisées en 30 i/s (NTSC), mais depuis que les systèmes de diffusion emploient des formats numériques, une cadence de 24 i/s est redevenue la norme. L'arrivée du numérique et une préférence pour le 24 i/s, qui est considéré plus cinématographique et économe par les réalisateurs et animateurs, signalent peut–être la mort graduelle des standards PAL et NTSC et de l'entrelaçage qui sera décrit à la prochaine section.

La cadence a donc un impact sur le budget d'une animation ainsi que sur la qualité des mouvements apparents. Toutefois, il ne faut pas oublier qu'un film est une œuvre artistique en plus d'être un produit commercial. Il est donc faux de postuler que l'animateur cherchera toujours à sauver de l'argent et qu'un petit budget produit inévitablement de mauvaises animations. Par exemple, *The Adventures of Rocky and Bullwinkle and Friends* (Britt *et al.*, 1959-1963) est une série télévisée qui, en dépit d'un budget et d'une animation limités, réussit à produire d'excellents épisodes grâce à l'originalité, la créativité et l'habileté de ses créateurs, ainsi que de ses performances vocales et de ses scénarios. Au final, la cadence est le moteur du mouvement apparent, mais n'est qu'un facteur parmi d'autres contribuant à la richesse et à la force d'un film animé. Bien que l'animation continue d'employer des cadences standardisées (c'est-à-dire 12,

15, 24 ou 30 i/s), des réalisateurs hollywoodiens, tel Peter Jackson, essayent de pousser l'industrie à adopter des cadences élevées. Certains chercheurs explorent même les bienfaits et la praticité d'employer des cadences allant entre 100 i/s et 300 i/s (Armstrong, M. G. *et al.*, 2008; Salmon *et al.*, 2014, p. 50). Sachant que l'augmentation du nombre d'images affecte le budget à la hausse, il est pertinent de se demander si les avantages conférés à l'animation par les HFR sont aussi valables pour les films tournés en PVR. Pour répondre à cette question, il est important de retracer l'histoire de la cadence.

5.2.4 Une courte histoire des HFR

La cadence est déterminée par les seuils perceptuels et par la technologie qui capte et projette les œuvres audiovisuelles. De la même manière que le passage du film muet au cinéma sonore à la fin des années 1920 a augmenté la cadence de 16 à 24 i/s, l'invention de la télévision commerciale crée des cadences qui sont conformes aux impératifs technologiques de cette nouvelle technologie (p. ex. tubes et écrans cathodiques photosensibles, transmetteurs et récepteurs de signaux, etc.). En Amérique du Nord, une cadence de 30 i/s devient le standard de la télévision et des plates-formes numériques, alors qu'une cadence de 25 i/s est adoptée en Europe (Jensen, 1967, p. 246-247). Dans une image télévisée, les photogrammes ne sont pas présentés une image à la fois, comme dans un film, mais sont entrelacés les uns dans les autres comme des doigts croisés ou des vagues. La première image qui cascade à travers l'écran contient déjà la suivante, qui est entrelacée à son tour dans l'image subséquente. Ce flux continu d'images imbriquées crée un mouvement fluide[36].

Historiquement, la valeur de la cadence a été limitée par le coût de la pellicule, mais maintenant que celle-ci a été remplacée par des systèmes de capture et de diffusion numériques, il est plus facile et potentiellement moins onéreux de travailler à des cadences plus élevées et variées. Il faut noter que le HFR n'est pas un phénomène récent. Tel que mentionné précédemment, les cadences élevées sont employées depuis le début du cinéma pour créer des effets de ralenti. Les HFR sont également utilisés pour filmer des scènes miniatures (Jahraus, 1931, p. 10; Tibbetts, 2015, p. 34; Turnock, 2013, p. 34-35). Dans les années 1980, Douglas Trumbull pense que le cinéma se meurt. Pour le sauver, il croit que de nouvelles technologies qui réduisent les coûts de production et améliorent l'expérience cinématographique doivent être développées. Il invente donc le Showscan, qui est un système HFR

[36] Pour une explication détaillée de l'entralaçage, (*interlacing*), veuillez consulter *The History of Frame Rate for Film*, un film produit par Filmmaker IQ (2015) au lien suivant : https://youtu.be/mjYjFEp9Yx0.

capable de projeter des images de grand format comme IMAX et sa pellicule de 70 mm[37] (Giardina, 11 février 2012; Netzley, 2001, p. 184; Turnock, 2013, p. 37-38). Avec la meilleure qualité d'image et la cadence de 60 i/s propre au Showscan, Trumbull, cité dans le magazine *Cinemafantastique*, est convaincu que l'expérience perceptuelle produite par ce dispositif est plus riche, stimulante et réaliste, car elle est plus proche de ce que l'œil perçoit (Showscan: What it is and How it Works, 1984, p. 108). Dans sa demande de brevet, il précise que ces allégations sont corroborées par une étude scientifique indépendante mesurant la réponse électrodermale[38] de 52 participants qui ont visionné des films à des cadences différentes (Trumbull, 1985, p. 6). La réaction du public au Showscan est cependant mitigée. La technologie semble produire de belles images réalistes, mais les bienfaits visuels sont marginaux comparés aux coûts qu'une conversion vers ce système occasionnerait (Palmer, R., 1984, p. 108; Turnock, 2013, p. 37-40). L'engouement pour les HFR disparaît donc jusqu'à ce qu'une nouvelle génération de réalisateurs tente de la ressusciter au XXIe siècle.

5.2.5 Les HFR aujourd'hui

Les cadences élevées sont employées pour régler un ensemble de problèmes visuels causés par l'existence d'une différence entre le mouvement qui est capté par une caméra et la façon dont notre système visuel perçoit le mouvement. Les savants décrivent ces effets indésirables comme une distorsion du signal spatial (résolution de l'image) et temporel (Templin *et al.*, 2016, p. 2). Bien qu'il n'y ait pas de consensus terminologique pour identifier ces phénomènes visuels indésirables, ils peuvent être regroupés en quatre catégories : le mouvement stroboscopique, les contours dédoublés, le papillotement, et le flou cinétique (Daly *et al.*, 2015, p. 62; Templin *et al.*, 2016, p. 2). Le mouvement stroboscopique, qui est aussi appelé *judder* et *jitter*, en anglais (Iseli et Loertscher, 2016, p. 1-2), est non seulement la distorsion la plus commune, il est aussi exacerbé par la stéréoscopie (c'est-à-dire le cinéma 3D – voir chap. 2). Si l'hypothèse de la vallée de l'ambiguïté apparente est valide, le *judder* résulte d'un mouvement apparent ambigu dont les positions sont trop espacées pour être perçues comme étant de courte portée et trop proches pour

[37] Bien que Wilcox *et al.* (2015) mentionnent que le Showscan projette des films de 60 mm (p. 4), le brevet de Trumbull (1985) précise que le : « Applicant [Trumbull] has set a minimum standard of a resolution of 56 line pairs per mm and is using the 70 mm format in his films » (p. 9). Puisque cette déclaration est vague, nous supposons, à l'instar de Turnock (2013), que le système peut diffuser des formats différents et est compatible avec le format d'IMAX qui est de 70 mm (p. 37 et 51).

[38] La théorie traditionnelle de l'activité électrodermale soutient qu'il est possible de déterminer notre niveau d'activation émotionnelle (*arousal*, en anglais) en mesurant la conductivité de notre peau (Colman, 2015, p. 302). Puisque nous suons lorsque nous éprouvons une émotion et que l'eau est un conducteur, une baisse dans la résistance dermale au passage d'un faible courant électrique indique que nous sommes stimulés. Des recherches plus récentes démontrent cependant que même si l'activité électrodermale est facile à mesurer, les résultats sont difficiles à interpréter, car le phénomène est beaucoup plus complexe que les recherches initiales le proposent (Droulers *et al.*, 2013).

être de longue portée. Il est clair qu'une cadence plus élevée crée des mouvements rapides qui sont plus fluides et moins stroboscopiques. Pour démontrer ce phénomène, nous avons animé un avion qui traverse l'écran à quatre cadences différentes : 12, 24, 30 et 60 i/s. La vidéo peut être visionnée au lien suivant : https://youtu.be/c0-PINfiXNc. La question du flou cinétique est ambiguë, car certains chercheurs croient qu'il nuit au mouvement alors que d'autres pensent qu'il faut l'ajouter à un film qui n'en a pas pour lui donner une esthétique plus cinématographique, appelée le *cinematic look* (Templin *et al.*, 2016).

L'intérêt pour les HFR est à nouveau relancé, car Hollywood, cherchant à rivaliser avec les systèmes de cinéma maison et les services de diffusion (p. ex. Netflix, AppleTV et Amazon Prime), veut créer des expériences cinématographiques en salle qui sont de plus en plus attrayantes. Pour atteindre cet objectif, les studios relancent des franchises à succès sous la forme de superproductions qui mettent de l'avant le pouvoir d'attraction des nouvelles technologies employées, dont la 3D stéréoscopique[39]. Cette stratégie, que Chuck Tryon appelle le *reboot cinema* dans un article éponyme (2013), a un impact sur la nature perceptuelle des films. Un recensement de 160 films hollywoodiens réalisés entre 1935 et 2010 révèle que les plans deviennent de plus en plus courts, que les plans plus courts contiennent plus de mouvements et que les films sont plus sombres (Cutting, James E. *et al.*, 2011). Par exemple, la durée moyenne d'un plan est d'un peu moins de quatre secondes en 2010, alors qu'elle est de dix secondes dans les années 1930 et de six secondes dans les années 1970 (p. 572). Dans la même étude, les chercheurs proposent que cette accélération vise à contrôler l'attention du spectateur et à créer potentiellement une œuvre plus excitante (p. 570). Le plan de l'industrie n'est cependant pas sans défauts. Mis à part le fait que ces films recyclés manquent d'originalité, les scènes d'action paraissent stroboscopiques lorsqu'elles sont projetées en stéréoscopie sur de grands écrans à des cadences traditionnelles (24 i/s et 30 i/s). Il est quelque peu ironique de constater que le *reboot cinema* est son propre ennemi, car ces effets perceptuels dérangeants risquent de miner l'expérience excitante qui est censée ramener les spectateurs en salle. Pour éliminer les problèmes visuels indésirables, l'industrie se tourne alors vers les HFR. Il est aussi espéré que ces cadences élevées créeront une expérience cinématographique qui est plus authentique, hyperréaliste et immédiate, car l'œil opère aussi à des cadences élevées (Turnock, 2013, p. 31; Vlessing, 12 décembre 2012).

[39] Créer l'illusion de la vision binoculaire au cinéma 3D remonte aux premières années du cinéma. Ray Zone rapporte dans *Stereoscopic Cinema and the Origins of 3-D Film* (2007) que Edwin S. Porter (1870-1941) réalise avec William E. Waddell des films stéréoscopiques qu'ils montrent lors de projections privées en 1915 (p. 97-99). De plus, Louis Lumière refait et projette *L'Arrivée d'un train en gare de La Ciotat* (1896) en 1935 (Lumière, 1936; Zone, 2007, p. 141-143). Cutting, James E. *et al.* (2011, p. 570), citant Salt (2006, 2009), relatent qu'il y a eu au moins quatre tentatives pour que le cinéma stéréoscopique soit accepté comme un mode de présentation majeur. Il est intéressant de noter que les vagues d'engouement et de déception pour le cinéma 3D miroitent l'intérêt pour les HFR.

Convaincu qu'une cadence de 48 i/s est plus belle et immersive et qu'elle produit moins d'artefacts de mouvements (Demosthenes, 19 novembre 2012; Giardina, 24 avril 2012), Jackson réalise la trilogie de *The Hobbit: An Unexpected Journey* (2012)*, The Desolation of Smaug* (2013) et *The Battle of the Five Armies* (2014) à 48 i/s. Le produit final n'a cependant pas rencontré le succès escompté. Pour certains spectateurs et ses créateurs, l'expérience est immersive (Michelle *et al.*, 2017, p. 2). Pour d'autres, l'hyperréalisme du résultat final semble artificiel. Le journaliste Peter Bradshaw résume la réaction des critiques ainsi : « Peter Jackson unveiled the 48-frames-per-second shooting innovation with huge fuss for his first Hobbit movie. The awful truth, however, is that this innovation just made everything look like an outside broadcast on video for daytime TV » (11 décembre 2014). Pour expliquer la divergence d'opinions, Michelle *et al.* (2017) mènent une étude et démontrent que la combinaison de la stéréoscopie, des HFR et des effets visuels produit une expérience qu'ils nomment le *hyperrality paradox*. Au lieu de sembler réelle, hyperréelle, ou immersive, l'artificialité des personnages et des environnements est accentuée dans certaines scènes et brise l'immersion (p. 18). Ces résultats remettent en question les résultats d'une étude menée par Wilcox *et al.* (2015). Ces derniers montrent trois scènes stéréoscopiques, tournées en PVR, à des participants. Les films sont projetés à des cadences de 24, 48 et 60 i/s. Les participants préfèrent les scènes montrées à des cadences élevées surtout lorsque la cadence passe de 24 à 48 i/s. La différence entre 48 et 60 i/s est moins marquée sauf quand le mouvement est rapide (p. 11). Comment donc expliquer que les HFR de *The Hobbit* causent des expériences visuelles négatives alors que cette recherche suggère que les jeunes adultes préfèrent ces cadences ? Wilcox *et al.* (2015) postulent que la préférence pour des cadences plus élevées peut être générationnelle, car leurs participants sont de jeunes adultes plus familiers avec les HFR qu'un public plus âgé[40]. Ils notent aussi que leurs films montrent des scènes et des actions réelles, alors que les problèmes visuels rapportés en lien avec les films de la trilogie *Hobbit* sont associés à des scènes fantastiques qui incorporent un mélange d'éléments numériques et réels (p. 10). Bien que nous verrons au sein du prochain chapitre qu'une telle juxtaposition peut effectivement provoquer des réactions négatives si les éléments sont discordants, nous croyons qu'il existe une manière plus simple d'expliquer la réaction paradoxale aux HFR.

[40] Personnellement, nous sommes du même avis et croyons que l'accoutumance joue un rôle important dans ce type de phénomène perceptuel. Par exemple, la première fois que nous avons visionné un Blu-ray sur une télévision en haute définition (HD), nous avons éprouvé une réaction similaire à celles que nous venons de décrire. Tout nous semblait trop net et les mouvements des personnages nous semblaient à la fois trop réels et infusés d'une artificialité théâtrale. Mais après quelques jours d'accoutumance, nous avons cessé de remarquer ces effets qui étaient presque insupportables.

Le problème fondamental soulevé par les cadences élevées provient encore une fois de la croyance que la perception opère comme une caméra. Puisque notre expérience visuelle est riche, nous croyons que notre système perceptuel est comparable à la meilleure caméra sur le marché. D'après cette supposition, nous voyons donc en HD ou même en 4K à une cadence supérieure à celle d'une caméra traditionnelle. Toutefois, comme il a été noté à plusieurs moments dans cette thèse, le système oculaire n'opère pas comme une caméra. Par conséquent, les caractéristiques visuelles qui sont accentuées par l'usage de procédés numériques ne correspondent pas toujours à celles qui intéressent ou qui sont sélectionnées par le système perceptuel. Comme nous l'avons également constaté, le mouvement et la forme sont perçus par des systèmes différents. Le mouvement (ou du moins la différence) est une information visuelle plus saillante que la forme. La perception commence par détecter la différence et le mouvement dans le champ visuel grâce à la voie dorsale. La résolution visuelle de ces signaux est basse, car l'objectif n'est pas d'identifier ce qui a bougé, mais de détecter un danger posé par quelque chose en mouvement. Ensuite, nous portons le regard fovéal de la voie ventrale qui est en haute résolution pour identifier la forme qui a bougé. Puisque la forme est subordonnée au mouvement, il est plus important pour le système visuel d'avoir accès à une meilleure résolution temporelle (c.-à-d. des cadences plus élevées) lorsque nous observons un film (animé ou en PVR), que d'avoir une meilleure résolution spatiale (c.-à-d. des images de plus claires et détaillées). C'est ce que l'expérience suivante démontre : puisque le jeu vidéo, la réalité virtuelle et les simulations dépendent de la génération de scènes interactives en temps réel et que les ressources computationnelles sont limitées, un groupe de chercheurs essaye de déterminer quel paramètre de l'expérience doit être priorisé pour maximiser sa qualité (Debattista *et al.*, 2018). Plus précisément, est-ce qu'un moteur de jeu, comme Unity, doit accorder la priorité à la résolution temporelle et montrer des scènes à des cadences élevées, ou augmenter la résolution spatiale et avoir des images plus détaillées[41] ? Les résultats indiquent que la cadence est plus valorisée que la forme. Un participant préfère donc voir un film à 60 i/s à basse résolution visuelle que de voir une belle scène projetée en 30 i/s (p. 368-369). Les bénéfices conférés par une augmentation de la cadence semblent cependant plafonner entre 40 et 60 i/s, car au-delà de ces valeurs, le ratio image/mouvement commence à s'inverser et les participants réclameront une meilleure qualité d'image (p. 363). En d'autres mots, 60 i/s semble satisfaire les demandes du système visuel. Au-delà de ce seuil, le système visuel préfère avoir plus d'informations

[41] Les chercheurs ne décrivent pas le contenu des films qui sont employés. Il semble que les scènes représentent des environnements, créés dans Unity, à travers lesquels une caméra se déplace en boucle. Elles ne semblent pas contenir des personnages ou des actions rapides.

visuelles. Cette étude démontre qu'une discussion des HFR doit tenir compte du fait que le rapport entre la résolution spatiale et la résolution dépend de la scène perçue.

L'emploi des HFR dans les films de Jackson démontre que les cadences élevées ne sont pas une panacée visuelle qui améliore automatiquement une expérience audiovisuelle. Les HFR ne sont pas un outil de résolution spatiale, mais plutôt un outil temporel qu'il faut utiliser pour régler des problèmes cinétiques. Par conséquent, les cadences élevées sont utiles et appréciées si le mouvement est rapide, car le système visuel peut utiliser les informations supplémentaires pour créer des mouvements apparents de courte portée qui sont fluides. En plus de régler les problèmes de sursauts stroboscopiques et de *judder*, James Cameron croit que les cadences élevées peuvent accentuer certains plans ou sujets hyperréalistes (Goldberg, 22 octobre 2019). Mais cet hyperréalisme cinétique n'est pas toujours bénéfique (Iseli et Loertscher, 2016, p. 5-6), car il peut produire un sentiment d'artificialité lorsque la scène est plutôt calme[42]. Cette impression est probablement causée par la surabondance d'informations visuelles qui est distrayante lorsque les éléments sont immobiles. Nous portons donc attention aux moindres détails qui seraient passés inaperçus si notre attention avait été rivée sur des mouvements dans la scène[43].

Bien que la production de films en HFR continue[44], Trumbull (Labrecque, 2 mai 2012), Cameron[45] (Goldberg, 22 octobre 2019) et un groupe de chercheurs et artistes (Iseli et Loertscher, 2016) croient qu'il faut traiter les cadences élevées comme un outil à déployer à certains moments dans le film. D'après ces derniers, la réalisatrice pourra choisir la cadence en fonction du sujet. Par conséquent, les plans d'action seront tournés en HFR alors qu'un gros plan plus contemplatif aura une cadence plus basse. Cette stratégie fondée sur une résolution dynamique qui est adaptative porte plusieurs noms. Douglas Trumbull l'appelle *selective frame rates* (Labrecque, 2 mai 2012; Turnock, 2013, p. 42-43) et Jonathan Erland la nomme *creative frame rates* (2016). Réalisant finalement qu'il y a une différence entre la cadence du support et la cadence du mouvement apparent, les réalisateurs de PVR adopteront la solution pragmatique connue des

[42] Cameron décrit cet effet indésirable ainsi : « the more mundane the subject, two people talking in the kitchen, the worse it works, because you feel like you're in a set of a kitchen with actors in makeup » (Goldberg, 22 octobre 2019).

[43] Nous reviendrons au phénomène de l'attention au sein du chapitre 7, lorsqu'il sera question du *staging*, qui relève du principe n° 3.

[44] Récemment, Ang Lee réalise *Gemini Man* (Ang, 2019) en 120 i/s (Hardawar, 16 octobre 2019).

[45] Contrairement à ce que certaines sources journalistiques rapportent (Giardina, 8 août 2012), Cameron ne compte pas produire les prochains films de la série *Avatar* en HFR (Cameron, 2009).

animateurs depuis le début du médium. La cadence n'est pas une valeur absolue ; elle peut et elle doit être adaptée au mouvement qui est représenté.

5.3 Le Tempo

De manière générale, les écrits sur l'art de l'animation ne décrivent pas les principes perceptuels sur lesquels le mouvement animé repose. Ceci est tout à fait normal, car ces ouvrages s'adressent à des artistes pragmatiques qui veulent apprendre à animer en utilisant des principes simples et efficaces. Dans *The Illusion of Life* (Thomas et Johnston, 1981), par exemple, au lieu de décrire des paramètres techniques, telle la durée de l'ISI (voir chap. 4), l'accent est plutôt placé sur des conseils pratiques, comme l'étirement et la compression, qui est le premier des 12 principes d'animation (p. 47-51), l'anticipation (principe n^{o} 2 [p. 51-53]) et l'exagération (principe n^{o} 10 [p. 65-66]). Même les principes d'animation qui traitent directement des dimensions perceptuelles du mouvement apparent sont décrits rapidement et servent plutôt de tremplin pour présenter des concepts plus pratiques. Par exemple, Thomas et Johnston expliquent que la découverte du *slow in and slow out* (principe n^{o} 6) n'est que la première étape qui mène aux principes du *staging* (n^{o} 3) et du *timing* (n^{o} 9). Et lorsqu'ils présentent le *timing*, ce principe qui est fondamental au mouvement apparent est employé en grande partie pour parler de l'animation à un et l'animation à deux.

À notre connaissance, la première et potentiellement seule étude réalisée par des animateurs qui cherche à identifier et à décrire les éléments essentiels de l'art du mouvement n'est pas un article scientifique, mais *Le Mouvement image par image*. Cette série de cinq courts-métrages est réalisée à l'ONF par Norman McLaren et Grant Munro (1923-2017). Chaque film porte sur une qualité ou une caractéristique fondamentale du mouvement animé. À la différence de textes savants qui ne font que décrire des phénomènes perceptuels en mots[46], les explications de McLaren et Munro sont animées. Le spectateur est ainsi en mesure de visualiser comment chaque caractéristique cinétique contribue au mouvement animé. La série est ainsi une étude détaillée du mouvement animé, ainsi qu'une ressource didactique inestimable.

[46] Cette norme commence peu à peu à changer. La publication d'articles scientifiques sur le Web et les éditions de livres en formats numériques permettent maintenant d'incorporer des vidéos, des sons et des éléments interactifs au texte. Même des ouvrages de référence publiés de manière traditionnelle, telle *Sensation* & *Perception* (Wolfe *et al.*, 2019) et *Interactive: Sensation and Perception* (Schwartz, Bennett Lowell et Krantz, 2019) sont accompagnés par un site Web où les phénomènes visuels décrits dans le texte sont animés. Malheureusement, de nombreux articles sont encore publiés sans ces ajouts qui sont si importants à la compréhension de phénomènes visuels.

Selon Munro et McLaren, le tempo est le principe fondamental qui est au cœur de l'animation. Comme nous avons vu au début de ce chapitre, le tempo est la distance parcourue par un objet d'une image à une autre. Cette distance détermine les caractéristiques ou les qualités du mouvement animé. Plus la distance est grande d'une image à l'autre, plus le mouvement est rapide (fig. 5.4A), mais risque d'être saccadé, car il est de longue portée. Plus les positions sont collées d'une image à l'autre, plus le mouvement est lent (fig. 5.4B). Cette proximité des intervalles crée également un mouvement fluide de courte portée qui, malgré sa nature illusoire, est traité comme du vrai mouvement par le système perceptuel. D'après les réalisateurs, la distance qu'une animatrice fait parcourir à un objet d'une image à l'autre est le principe sur lequel l'art du mouvement animé repose. McLaren conclut donc le premier film ainsi : « […] the size of the move is the animator's chief concern, whether he is animating a cut-out, an object, a substance, a person or a series of drawings » (McLaren, N. et Munro, 1976a)[47]. L'effet de la distance sur la qualité d'un mouvement apparent est illustré dans la vidéo suivante : https://youtu.be/nH4_MMndb78.

Figure 5.4 : Tempo et distance

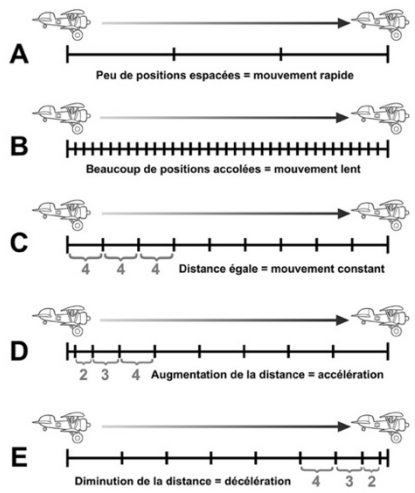


Figure créée par l'auteur.

La vitesse constante, l'accélération et la décélération sont les trois premières caractéristiques du tempo et d'un mouvement inanimé. Elles sont employées pour représenter un objet passif qui est déplacé par les forces physiques externes de son environnement (p. ex. friction, vitesse et gravité). Lorsque les positions sont équidistantes d'un photogramme à un autre, il n'y a ni accélération ni décélération et l'objet se déplace à une vitesse constante (fig. 5.4A, B et C). Un animateur peut accélérer un mouvement ou le ralentir en modifiant le tempo de l'animation. La formule est simple. En augmentant progressivement la distance parcourue d'une image à l'autre, l'animateur crée une accélération (fig. 5.4D). À l'inverse, une décélération est produite en diminuant graduellement la distance parcourue d'une image à l'autre (fig. 5.4E).

Le quatrième principe est celui de la pause ou du mouvement zéro. Il est facile d'oublier que l'immobilité est tout aussi importante dans une action que le mouvement lui-même. McLaren et Munro soulignent l'importance de placer une pause au début et à la fin d'un mouvement. Ils décrivent la pause comme étant

[47] Ces paroles rappellent bien sûr sa déclaration célèbre : « Animation is therefore the art of manipulating the invisible interstices that lie between the frames » (Hoffer, 1981, p. 5).

un élément fondamental de la cadence et notent avec perspicacité qu'il n'y a pas de pause lorsque nous animons à un, alors qu'animer à deux nécessite l'ajout d'une pause à chaque image. Ils comparent aussi la pause en animation à la pause en musique (1976c). Rowell (1983, p. 26), cité par Sutton (2006, p. 252), décrit le rôle vital du silence en musique ainsi : « It may be short or long, measured or unmeasured, interruptive or noninterruptive, tensed or relaxed. But in one way or another the silence becomes a part of the music ». Bien qu'il soit question de musique et non d'animation, les parallèles entre les deux médiums dans cette citation sont clairs. Il suffit d'observer les gesticulations frénétiques de Koko le clown dans *The Ouija Board* (Fleischer, M., 1920) pour constater qu'un mouvement sans arrêt est visuellement épuisant et difficile à traiter. Sans le silence de la pause, une animation ne respire pas, ne parle pas.

Le mouvement irrégulier est le cinquième principe du tempo. L'irrégularité est la particularité dynamique des mouvements effectués par un être vivant, car ce dernier est animé par un esprit et peut se déplacer de manière autonome et imprévisible. Le lien entre le mouvement irrégulier et le type que les savants qualifient d'animé n'est pas mentionné explicitement, mais Munro et McLaren le décrivent dans le troisième film (1976c) en employant des adjectifs qui suggèrent une intention ou une émotion (p. ex. hésitant, capricieux, nerveux et apeuré). Au début du quatrième film (1977), les réalisateurs démontrent à l'aide d'un bonhomme allumette que les cinq types de mouvements opèrent généralement de concert dans une animation. Les images qui accompagnent la démonstration rappellent les études de mouvements faites par Étienne-Jules Marey (voir chap. 2) et l'étude du mouvement biologique, une branche de la psychologie fondée pas Gunnar Johansson (Johansson, 1973, 1976), qui sera décrite au sein du prochain chapitre. À travers la série, Munro et McLaren soulignent le fait que l'art de l'animation n'équivaut à rien de plus que de savoir manipuler, varier et combiner le mouvement, l'accélération, la décélération et la pause à différents degrés. À la fin de la deuxième partie, ils illustrent une myriade d'émotions complexes et subtiles en n'employant que ces éléments. Leur démonstration est une véritable classe de maître portant sur l'usage et la puissance des rudiments de l'animation. La deuxième moitié du quatrième film s'intéresse au mouvement stroboscopique causé par des mouvements rapides (1977). Pour réduire cet effet indésirable, McLaren et Munro recommandent de réduire la vitesse des mouvements, de diminuer le contraste de luminosité entre l'objet et le fond et d'ajouter du flou pour simuler la façon dont une caméra en capte le mouvement en PVR. Alors que les quatre premiers films portent sur le mouvement, qui est un changement de position dans l'espace, la cinquième partie de la série porte sur les changements de couleurs, de luminosité, de texture et de forme. Ceci permet à l'artiste d'animer ou de « travailler sans exploiter le mouvement » tout en appliquant les différentes formes du tempo aux manipulations réalisées

(McLaren, N. et Munro, 1978). Les animateurs montrent par exemple qu'un fondu enchaîné lent et uniforme entre deux images peut transformer un paysage alors qu'un *pop-in* ou *pop-out* soudain peut momentanément faire apparaître et disparaître un objet ou en changer la texture. Ce film démontre que le changement, peu importe sa nature (luminosité, forme, mouvements, texture, etc.), est le phénomène perceptuel le plus saillant et rappelle que comme médium d'expression perceptuelle, il n'y a pas seulement le mouvement qui puisse être animé. Une description du contenu des cinq films de la série *Le Mouvement image par image* est fournie au tableau 5.4.

Tableau 5.4 : Les composantes du mouvement animé et thèmes abordés

Sujet	**Partie**
1. Mouvement constant ou uniforme (McLaren, N. et Munro, 1976a)	1
2. L'accélération (1976b)	2
3. La décélération (McLaren, N. et Munro, 1976b)	2
4. La pause (McLaren, N. et Munro, 1976c)	3
5. Le mouvement irrégulier	3
6. Mouvement biologique (1977)	4
7. Effets stroboscopiques (1977)	4
8. Le changement (1978)	5

Figure 5.5 : Les composantes du tempo

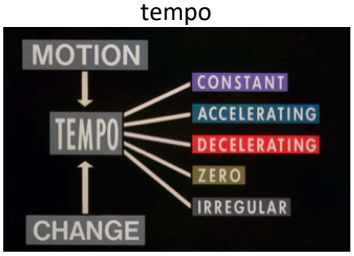


Image prise du cinquième film de la série (McLaren, N. et Munro, 1978)

La taxonomie du mouvement animé réalisée par McLaren et Munro est remarquable, car bien qu'ils ne soient pas des scientifiques, leurs descriptions et aperçus sont perspicaces et instructifs. Il faut noter que certaines des notions plus fondamentales identifiées et illustrées dans *Le Mouvement image par image* sont aussi traitées par Johnson et Thomas dans *The Illusion of Life* (1981). Ces derniers décrivent le tempo comme étant le principe du *timing* (Thomas et Johnston, 1981, p. 64-65), et l'accélération et la décélération sont abordées rapidement lorsqu'ils décrivent le *slow in and slow out* (principe n° 6, p. 62). Leurs descriptions demeurent toutefois sommaires et pratiques. Cette critique ne vise pas à minimiser l'importance des principes d'animation, mais plutôt à souligner l'importance de la contribution de McLaren et de Munro. Leurs observations nous serviront donc dans les deux prochains chapitres. Les trois premiers types de mouvement (constant, accélération et décélération) seront traités au chapitre 7 lorsqu'il sera question de l'influence des forces physiques sur les mouvements animés et inanimés.

Bien que l'analyse de Munro et McLaren soit unique et instructive, elle ne présente pas certaines propriétés perceptuelles fondamentales qui ont été identifiées par les animateurs commerciaux et les auteurs du *Illusion of Life* (Thomas et Johnston, 1981). Ceci est normal, car Munro et McLaren ne baignent

pas dans le *cartoon* américain, mais sont des artistes et des réalisateurs de films d'auteur travaillant à L'Office national du film du Canada. Par conséquent, ils emploient des formes rigides (cercles et bâtons) et non des dessins cartoonesques pour illustrer les facettes du tempo. Si des dessins animés ou un matériel manipulable comme de la pâte à modeler avaient été utilisés dans *Le Mouvement image par image*, Munro et McLaren auraient peut-être noté le fait que la forme animée est fondamentalement malléable et fluide. Cette fluidité est au cœur du premier principe d'animation : la compression et l'étirement. Par conséquent, il ne faut pas écarter l'apport des douze principes, car bien qu'ils ne s'attardent pas à la nature ou aux mécaniques perceptuelles du mouvement apparent, ils offrent des solutions concrètes pour accentuer l'expérience perceptuelle d'une animation et régler les problèmes qui y sont associés. Le meilleur exemple de ceci est le problème causé par le mouvement apparent ambigu et stroboscopique. McLaren et Munro recommandent d'ajouter du flou cinétique pour réduire le *jitter*, mais Johnson et Thomas fournissent une solution encore plus simple.

5.4 La compression et l'étirement

La compression et l'étirement (principe n^{o} 1) est probablement le principe d'animation le plus polyvalent en ce qui concerne la perception, car il contribue à la qualité d'un mouvement apparent de plusieurs façons. Les trois rôles perceptuels du *squash and stretch* qui seront traités dans cette section sont :

- Combler le fossé (réduire la distance entre les intervalles)
- Fournir des informations sur la forme de l'objet en mouvement (*form from motion*)
- Représenter un phénomène réel : stries et traînées visuelles

Avant de décrire ces fonctions, il est nécessaire de décrire la propriété sur laquelle elles reposent.

5.4.1 La malléabilité de la forme animée

Le corps animé, ainsi que la forme animée de façon plus générale, sont malléables, et l'animateur, tel un sculpteur, peut les mouler afin qu'ils se conforment au mouvement et l'enrichissent. Le réalisateur et théoricien russe Sergei Eisenstein (1898-1948) reconnaît cette maniabilité lorsqu'il décrit l'animation comme étant une forme protoplasmique qui a l'habilité d'assumer n'importe quelle configuration. La forme animée possède ainsi :

> An ability that I would call 'plasmaticness', for here we have a being represented in drawing, a being of a definite form, a being which has attained a definite appearance, and which behaves like the primal protoplasm, not yet possessing a stable form, but capable of assuming

> any form and which, skipping along the rungs of the evolutionary ladder, attaches itself to any and all forms of animal existence. (Eisenstein, 2017 [1986], p. 32)

La matière n'est donc pas limitée à une seule forme en animation, mais est libre ainsi de changer complètement d'apparence. Cette habileté polymorphe constitue une propriété fondamentale de l'animation (Torre, 2017, p. 26; Wells, 1998, p. 69), car la métamorphose représente le deuxième type de mouvement animé ; le premier étant le déplacement dans l'espace, alors que la métamorphose est le mouvement de la forme (Torre, 2017, p. 26). La nature mercurielle, élastique et protoplasmique de la forme animée est également ce qui permet la compression et l'étirement. Décrit au chap. 1, ce principe est emblématique des dessins animés traditionnels produits sur papier en 2D au début du cinéma. Les extensions de l'avion de Mickey Mouse dans *Plane Crazy* (Disney et Iwerks, 1929), par exemple, et les déformations du corps de Koko le clown dans *Snow-White* (Fleischer, D., 1933), sont typiques des animations de cette époque. En animation de volume, l'élasticité de la forme s'exprime bien quand les personnages sont créés en pâte à modeler. Bien que cette technique soit parfois employée sur des productions télévisées (p. ex. *Morph* ou *Gumby*), l'animation 2D réalisée pour cette plate-forme n'a pas généralement cette malléabilité, car déformer un corps coûte cher et les budgets restreints limitent le nombre de dessins produits. La forme animée est ainsi rigide dans les séries, telles *Scooby Doo, Where Are You !* et *The Simpsons* (Groening, 1989-2022). L'animation par ordinateur est aussi relativement rigide à ses débuts. La série télévisée canadienne *Reboot* (Blair *et al.*, 1994-2001) et même les personnages du premier *Toy Story* manquent de souplesse. Ceci est causé par le fait que, comme une marionnette physique, un personnage en 3D est doté d'une armature, appelée un « rig », qui simule le système d'ossature et d'articulations d'un corps physiologique. Puisque ces os virtuels sont inextensibles au début de l'animation de synthèse, les premiers animateurs 3D perdent l'habilité d'étirer et de compresser leurs personnages. Les techniciens et artistes numériques développent toutefois des systèmes qui permettent les déformations protoplasmiques d'Elastigirl (*The Incredibles*)[48]. La forme animée a ainsi retrouvé

[48] Dans les années 1940, George Pal souhaite réaliser des animations de marionnettes qui ont la même élasticité que le mouvement d'un *cartoon*. Puisque l'armature d'une marionnette est rigide, cette élasticité cartoonesque ne peut pas être produite en manipulant le personnage. Pal découvre cependant qu'il peut remplacer la partie du corps qui va être déformée image par image. Lorsqu'un personnage, par exemple, doit étendre son bras pour prendre un objet, le bras plus court sera substitué par une série de bras de plus en plus longs (Torre, 2021, p. 98). En fait, chaque morceau amovible de la marionnette est traité comme les dessins d'une animation sur papier. Le mouvement sera donc fluide comme une animation 2D, si chaque action est composée de suffisamment de morceaux qui changent graduellement de forme. Puisque cette technique produit des mouvements cartoonesque fluides à partir de marionnettes, Pal la nomme *puppetoons* (*puppet* + [*car*]*toons*). Pour reprendre la terminologie de Torre (2017, p. 22), le *puppetoons* est une forme d'animation substituée, alors que l'animation de volume est typiquement une animation manipulée. Le studio LAIKA, basé dans l'état d'Oregon, réalise ses films animés grâce à une forme de *puppetoons*. Mais au lieu de sculpter chaque partie amovible en bois, les artistes travaillant sur *Coraline* (Selick, 2009) et *ParaNorman* (Fell et Butler, 2012) utilisent des impressions 3D pour imprimer chaque pièce de la séquence animée.

l'élasticité qu'elle a perdue en passant au monde numérique. Récemment, les personnages des films *Hotel Transylvania : Transformania* (Drymon et Kluska, 2022) et *The Grinch* (Mosier et Cheney, 2018) sont tout aussi flexibles qu'un *cartoon* de Tex Avery (1908-1980). En plus de permettre les transformations protoplasmiques de la forme animée, la compression et l'étirement joue plusieurs rôles perceptuels importants.

5.4.2 Combler le fossé II

Comme nous l'avons déjà mentionné au début de ce chapitre, le fait d'augmenter la cadence réduit l'effet stroboscopique d'un mouvement apparent animé de longue portée ou ambigu, car plus il y a d'intervalles entre deux positions, moins il y a d'écart entre chacune des images. Bien que cette astuce fonctionne, elle ralentit le mouvement lorsque la cadence est constante et peut entraîner des frais importants. Le recours au premier principe d'animation, celui de la compression et de l'étirement, s'avère une solution alternative qui est moins onéreuse et qui peut créer des mouvements plus expressifs. D'après ce principe, il faut étirer un objet en mouvement lorsque ce dernier bouge rapidement et l'écraser lors d'un impact (fig. 5.6). Il faut toutefois faire attention de maintenir le volume de la forme initiale (Becker, 2017).

Figure 5.6 : La compression et l'étirement

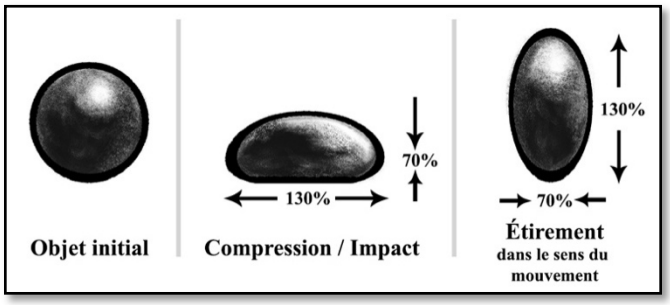
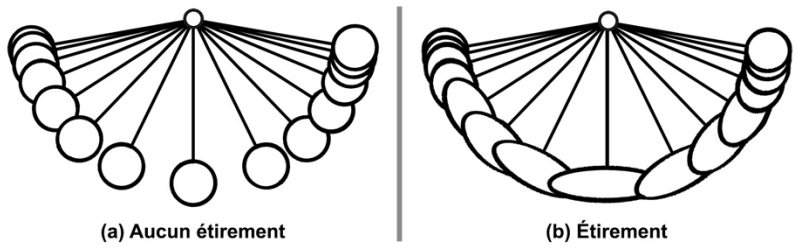


Figure créée par l'auteur.

Tel un pont qui connecte deux rives ou une fissure qui est recouverte par un plâtrier, l'étirement d'un objet remplit l'espace vide entre deux positions. Basée sur l'explication de John Lasseter (1987, p. 37), la figure 5.7 illustre comment le simple fait d'étirer un objet réduit l'espace entre chaque intervalle et aide à transformer un mouvement apparent de longue portée en un mouvement fluide de courte portée. Les intervalles espacés

Figure 5.7 : L'étirement et le mouvement apparent de courte portée



Les figures et la vidéo ont été créées par l'auteur.

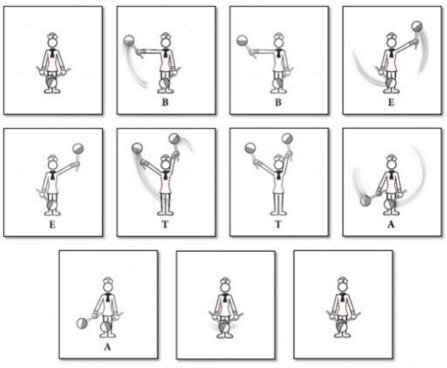
de la figure 5.7A produisent donc un mouvement légèrement stroboscopique. À la figure 5.7B par contre, l'effet stroboscopique est réduit et le mouvement a plus de vivacité élastique, car l'étirement et la compression du plomb en bas de la trajectoire comblent l'espace vide entre les intervalles et transforment l'animation en mouvement apparent de courte portée. Les deux animations peuvent être visionnées côte à côte en consultant la vidéo suivante : https://youtu.be/i_B2AJqnciI.

Nos deux exemples (figures 5.6 et 5.7) donnent la fausse impression que le principe de la compression et de l'étirement n'est qu'une déformation presque mécanique appliquée proportionnellement sur les axes verticaux et horizontaux. Bien que le volume de la forme initiale doit effectivement être préservé, la forme de l'objet en mouvement peut être modifiée selon le mouvement et la trajectoire. Les actions fluides et métamorphiques représentées dans la scène suivante https://youtu.be/rTtQQtnZv44, qui a été réalisée par l'auteur, démontrent que le principe de la compression et l'étirement rehausse le mouvement de manière expressive et dynamique et peut s'appliquer à une technique autre que le dessin animé. Il faut toutefois s'assurer que les déformations de la forme suivent la trajectoire du mouvement, probablement parce qu'elles doivent respecter la loi du parcours le plus court (voir chap. 4). La vidéo suivante https://youtu.be/p_WrbuwAICU (créée par l'auteur) illustre le fait qu'il faut relativement peu d'images pour éliminer l'effet stroboscopique. Même un seul intervalle connectant les deux positions extrêmes peut créer un mouvement apparent qui fonctionne. L'animateur n'a même pas à déformer l'objet en tant que tel. L'espace peut être comblé par d'autres éléments visuels, telles la lumière et des lignes de vitesses.

5.4.3 Les traînées lumineuses et les lignes de vitesse

Le principe de la compression et de l'étirement rappelle les lignes de vitesse, qui sont une convention visuelle, ainsi que les traînées lumineuses, qui sont un vrai phénomène visuel. Bien que les traînées lumineuses et les lignes de vitesse ne bougent pas (voir chap. 3*), elles peuvent réduire un mouvement stroboscopique en comblant le fossé laissé entre deux intervalles espacés. Dans l'animation illustrée à la figure 5.8, un marin épelle le mot « beta » en sémaphore. Le mouvement est rapide, mais fonctionne, car des lignes de vitesse ont été ajoutées entre les poses extrêmes. En connectant deux poses espacées et en éliminant l'écart entre ces dernières, les lignes

Figure 5.8 : Lignes de vitesse et mouvement apparent



Vidéo (créée par l'auteur) : https://youtu.be/-JOlwQJ-88U

de vitesse transforment un mouvement apparent de longue portée en un mouvement apparent de courte portée. L'effet visuel est généralement accompagné par un son chuintant ou sifflotant qui accentue et dynamise le mouvement. Veuillez consulter la vidéo qui accompagne la figure pour voir l'effet. Lorsque l'objet en mouvement émet de la lumière, sa traînée lumineuse peut jouer le même rôle que les lignes de vitesse. Dans *Star Wars*, chaque mouvement rapide d'un sabre au laser doit être suivi par une traînée, car celle-ci réduit l'effet stroboscopique produit par les mouvements rapides et un haut contraste lumineux de l'arme. L'emploi de l'étirement et des lignes de vitesse pour éliminer l'effet stroboscopique soulève des questions quant à leurs origines. Sont-ils une convention artistique que nous avons appris à associer au mouvement, ou représentent-elles un vrai phénomène visuel ?

5.4.4 Les stries

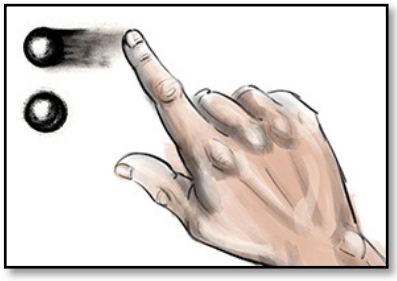
Parmi une longue liste de phénomènes visuels qu'il associe à la persistance visuelle, Georges Sadoul décrit le fait qu'une goutte de pluie semble s'étirer lorsqu'elle tombe (1948, p. 9). Un ensemble de questions est soulevé par cette observation. Premièrement, est-ce qu'un objet en mouvement s'étire vraiment ? Bien que l'exemple de la goutte d'eau semble démontrer que c'est le cas, il suffit de regarder une scène filmée à un HFR pour voir que la goutte d'eau reste relativement sphérique tout au long de sa chute (https://youtu.be/Ch1MP5E2qSg). L'impression d'étirement est donc d'origine perceptuelle. Cela nous amène à une deuxième série de questions. Même si les choses en mouvement ne s'étirent pas vraiment, est-ce que notre système perceptuel déforme les objets bougeant rapidement de la même manière qu'un animateur applique le principe de la compression et de l'étirement ? Ou le système visuel déforme-t-il les objets en mouvement d'une manière qui ressemble au flou cinétique capté par une caméra ? Évidemment, puisqu'il est impossible de prendre une image de ce que nous voyons de nos propres yeux, l'impression mentale que nous avons d'une image d'un objet en mouvement est probablement influencée par les images captées par une caméra. Mais percevons-nous vraiment cette déformation ?

Lorsque voyons un objet se déplaçant rapidement, une étude relativement récente indique que la perception humaine ne semble pas étirer les objets en mouvement de la même manière qu'une animatrice déforme un projectile (Apthorp *et al.*, 2013). Nous voyons plutôt à des niveaux précoces du système perceptuel des stries cinétiques (*motion streaks*, en anglais) qui sont un peu floues (Burr, David C et Ross, 2002; Geisler, 1999). Les chercheurs expliquent le phénomène ainsi : puisque les mouvements plus rapides sont difficiles à percevoir, le système perceptuel utilise des informations sur la forme pour clarifier et préciser les informations cinétiques manquantes. La direction des stries, qui sont parallèles au mouvement,

indique au système perceptuel la direction de ce dernier. Ces stries sont produites par un processus appelé « l'intégration temporelle » et *temporal integration*, en anglais (Geisler, 1999, p. 66). Nous avons vu que la perception n'est pas un processus instantané (voir chap. 2). Même au niveau neuronal, il y a un petit délai entre le moment où un neurone est activé par un mouvement, intègre les informations captées et se décharge, et le moment où il achemine l'information à la prochaine étape du système. Ce délai sert à renforcer les signaux captés. Par exemple, les signaux émis par une lumière faible sont plus faciles à détecter si le neurone a un peu plus de temps pour collecter les données. Il y a donc un court délai entre la captation et la transmission des informations sensorielles. La période durant laquelle le neurone combine ou intègre les informations captées s'appelle l'intégration temporelle. Pour un mouvement, la durée de l'intégration temporelle est de 100 ms (Burr, David C et Ross, 2002, p. 9661; Snowden et Braddick, 1991, p. 912). La période est brève, mais quand le mouvement est rapide, l'objet a eu le temps de se déplacer dans le champ visuel entre le début de l'activation et l'envoi du signal. Par conséquent, le neurone envoie la somme de l'activité captée aux étapes visuelles suivantes (Alais *et al.*, 2011, p. e28675). C'est ce signal intégré, représentant un déplacement, qui étale[49] la position de l'objet dans l'espace et crée l'effet un peu flou du *motion streak*.

Les stries cinétiques sont donc des repères formels qui sont produits par notre système perceptuel pour nous aider à déterminer l'orientation d'un mouvement rapide. Trois conventions ou astuces artistiques simulent les trois caractéristiques visuelles des stries. Premièrement, puisqu'elles sont accompagnées de lignes, les stries cinétiques sont associées aux lignes de vitesse (Burr, David C et Ross, 2002, p. 8661). L'emploi des lignes de vitesse dans un dessin animé exemplifie le fait que les artistes et les techniques et astuces qu'ils emploient présagent les découvertes scientifiques (p. 8664). Deuxièmement, puisqu'elles sont étalées, les stries ressemblent à la forme de compression et d'étirement représentée à la figure 5.9 qui est produite dans un dessin traditionnel en estompant la forme avec son doigt. Dans une image numérique, cet effet d'étalement est produit en utilisant l'outil « doigt » (ou *smudge tool*, en anglais) dans Photoshop. Finalement, les stries cinétiques sont floues comme le flou cinétique (*motion blur*) qui caractérise les mouvements captés par une caméra. Le fait que notre perception de mouvements rapides semble être naturellement accompagnée par une forme de *motion blur* explique potentiellement

Figure 5.9 : Estompage



Dessin réalisé par l'auteur.

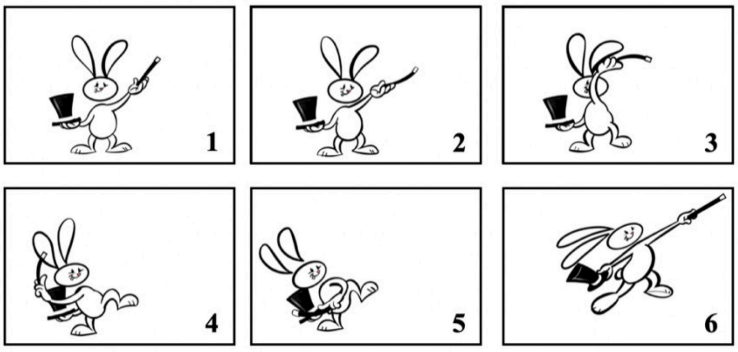
[49] Nous employons le verbe « étaler », car Burr, David C. (1980) décrit l'effet comme un *smear*.

pourquoi certains préfèrent le *cinematic look* (Templin *et al.*, 2016, p. 2), qui est flou, aux cadences élevées qui ne le sont pas. Le phénomène pourrait aussi expliquer pourquoi Iseli et Loertscher (2016, p. 4-6) rapportent qu'un mouvement projeté à des HFR semble plus lent s'il n'est pas accompagné par un flou.

5.4.5 La déformation, la compression et l'étirement

Outre l'étalement (*smear*, en anglais) associé aux stries cinétiques, il y a une autre forme de déformation visuelle qui est employée en animation pour représenter un mouvement apparent de courte portée qui est fluide. Ce mouvement est une déformation arquée de la forme qui se déplace. Telle que représentée à la figure 5.10, l'extrémité d'un objet animé (p. ex. une baguette magique) s'attarde derrière le mouvement principal et donne l'impression que le personnage traîne un objet mou comme un bâton de réglisse ou une nouille de piscine. Dans cette même animation (https://youtu.be/RvRxCLGsUZ4), la plupart des éléments en mouvement suivent ces trajectoires qui sont à la fois décalées et arquées. Encore une fois, c'est le style de l'animation qui détermine le degré d'élasticité de l'objet. Est-ce que ce type de mouvement a une explication perceptuelle ou est-ce une astuce purement artistique développée par l'animateur pour créer des mouvements fluides et expressifs ? Nous croyons que nous pouvons l'expliquer à l'aide du *rubber pencil illusion*. Décrite et étudiée scientifiquement par Pomerantz (1983, p. 365), cette illusion est produite en tenant légèrement un crayon entre le pouce et l'index de manière excentrée (voir fig. 5.11). En l'agitant lentement de haut en bas, le crayon semble se mouvoir de manière ondulaire, comme s'il était fait de caoutchouc ou d'une substance gélatineuse (Weiss, Y. et Adelson, 2000, p. 543).

Figure 5.10 : Déformation arquée



L'extrémité d'une forme en mouvement traîne derrière le mouvement principal, ce qui crée un mouvement arqué. Les images ont été créées par l'auteur et sont tirées du film Vaudeville Vaucher (Vaucher, 2021).

Figure 5.11 : Rubber pencil illusion

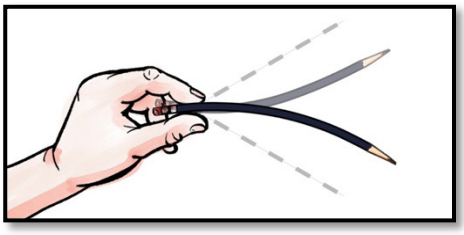


Image créée par l'auteur.

Quelques hypothèses ont été émises pour expliquer ce phénomène, dont la persistance visuelle (Pomerantz, 1983, p. 368) et l'idée selon laquelle le système visuel a tendance à interpréter les mouvements en les lissant (*smoothing*, en anglais) (Weiss, Yair, 1997; Weiss, Y. et Adelson, 2000). Thaler et Todd (2006) n'écartent pas ces possibilités, mais pensent que d'autres facteurs doivent jouer un rôle, car même si le *smoothing* est un outil utile en imagerie numérique, le lissage produit une ligne qui est droite et non courbée (p. 12). Une dernière explication scientifique du phénomène formulée par Macknik *et al.* (2010) propose que le mouvement arqué du crayon puisse être expliqué par les *end-stopped V1 neurons* (p. 40-41). Comme cela a été démontré au sein du chapitre 4, ces neurones, situés dans le V1, aident le système perceptuel à résoudre le problème de la correspondance en se référant aux extrémités des choses (p. ex. le bout d'une ligne). Puisque le traitement des informations captées par ces neurones est plus lent que la vitesse requise pour traiter l'orientation d'un objet, le signal indiquant la position d'une extrémité arrive après que le système visuel ait traité la position du centre de l'objet (Goldstein et Cacciamani, 2022, p. 187-188; Pack *et al.*, 2003, p. 677). L'impression que nous avons que le crayon est mou et courbé serait ainsi causée par le délai dans le traitement des informations qui arrivent de plus en plus tard au fur et à mesure que nous nous approchons de son extrémité. Bien que cette hypothèse soit présentée dans un livre de vulgarisation scientifique, les auteurs sont des savants de renom. Jusqu'à preuve du contraire, nous considérons que leur hypothèse est valable et peut expliquer pourquoi les extrémités d'un objet animé en mouvement semblent traîner derrière le centre de l'objet en animation. Nous examinerons l'emploi de courbes en animation au chapitre prochain, car les mouvements biologiques suivent des trajectoires arquées.

5.4.6 Informations sur la masse

Une des premières fonctions de la compression et de l'étirement d'un point de vue pratique est de réduire l'effet stroboscopique en transformant un mouvement ambigu ou de longue portée en un mouvement fluide de courte portée. La seconde fonction est de communiquer de l'information sur la nature de l'objet qui est en mouvement. Est-il léger ou lourd, dense ou floconneux ? C'est à travers les propriétés cinématiques conférées aux objets par l'animateur que ces informations sont communiquées au spectateur.

En physique, il y a une différence entre la cinématique (*kinematics*, en anglais) et la dynamique (*dynamics*, en anglais). La dynamique « se rapporte aux forces exercées sur les systèmes, par opposition au terme "cinématique" qui se rapporte à la description du mouvement » (Taillet *et al.*, 2018, p. 236). Alors que la

cinématique porte sur le mouvement pur (la position, la vitesse et l'accélération), « sans s'intéresser à ses causes » (p. 125), la dynamique porte sur les forces qui agissent sur un mouvement. La masse, la friction, l'élasticité, et la viscosité des éléments sont des exemples de ces forces dynamiques interconnectées.

Lorsque nous voyons un événement dans notre environnement, telle une collision entre deux objets, nous nous fions aux propriétés dynamiques qui peuvent être observées pour déterminer ce qui s'est passé et pour inférer les caractéristiques des objets impliqués dans la situation (Todd et Warren Jr, 1982). Nous sommes ainsi en mesure de juger la masse relative de deux objets qui entrent en collision en se basant sur l'élasticité de ces derniers après l'impact (p. 327). Puisqu'un mouvement apparent est une création artificielle d'événements et d'objets qui ne sont pas sujets aux forces physiques, Todd et Warren Jr (1982) observent qu'une animation est, en termes physiques, une illusion dynamique qui est produite par la manipulation d'éléments cinématiques. Les deux chercheurs mènent ainsi des expériences visuelles pour déterminer comment nous pouvons extraire des informations *dynamiques* d'une illusion purement *cinématique* (p. 325-326). Ils découvrent que le système perceptuel semble accorder plus d'importance à l'élasticité des objets qu'à des indices cinétiques plus complexes (p. 331). Il est aussi important de noter que, même si nous formons une opinion préliminaire quant à la nature des éléments dans la scène avant qu'un événement dynamique se produise, nos estimations sont immédiatement révisées après avoir vu l'événement. Cette stratégie perceptuelle est logique, car il est difficile d'évaluer et de prévoir les propriétés physiques des objets impliqués dans un processus dynamique. Ceci est particulièrement vrai en animation, car le type de thèmes abordés ainsi que la nature illusoire du médium font en sorte que les choses peuvent se comporter de manière imprévisible.

Ce qui est peut-être un peu plus surprenant est le fait que nous ne remettons pas la véracité d'une illusion en question. Si nous observons un phénomène dynamique incongru dans une animation, nous ne penserons pas que l'animateur a mal fait son travail. Nous chercherons plutôt à expliquer la discordance en nous disant que nous avons mal évalué les indices visuels. Ceci est corroboré par une étude récente menée par Kenny *et al.* (2019). Pour étudier la façon dont le système perceptuel interprète un conflit entre la forme d'un objet et son mouvement, ils enregistrent, grâce à un système de capture de mouvements, les actions corporelles de cinq comédiens en train de lancer, de pousser et de soulever divers objets ayant des masses différentes. Puisque la force physique varie d'un acteur à l'autre et que ces derniers ont des corps différents, les chercheurs peuvent transférer les mouvements d'un acteur fort à un avatar plus chétif. À l'inverse, un avatar chétif peut bouger des objets avec une force supérieure aux proportions de son corps.

Il est ainsi possible de créer des animations conflictuelles dont la forme ne correspond pas nécessairement au mouvement et d'évaluer comment le système visuel interprète cette dissonance. Il faut noter que les objets manipulés sont invisibles dans les animations. Après avoir montré ces animations à des participants, les chercheurs découvrent que le système visuel est tolérant des inconsistances de ce type (p. 2:16). Plutôt que de percevoir un conflit ou une erreur dans l'animation, l'observateur explique l'incongruité en réévaluant l'estimation des propriétés de l'objet qui a été déplacé. Par exemple, au lieu de penser que le personnage est trop faible pour déplacer un objet qui semble lourd, l'observateur révise son estimation initiale et conclut plutôt que l'objet est probablement plus léger qu'il l'avait initialement cru. Dans les mots des chercheurs : « Actions involving object manipulations present an opportunity for the visual system to reinterpret the introduced inconsistencies as a change in the dynamics of an object rather than as an unexpected combination of body shape and body motion » (p. 2:1). Même si les objets manipulés par les avatars avaient été visibles dans ces animations, nous croyons que l'observateur résoudrait le conflit de la même façon en réévaluant son estimation des propriétés dynamiques de l'objet plutôt que de mettre la véracité du phénomène observé en doute. En d'autres mots, les apparences peuvent être trompeuses, mais le mouvement, même s'il est illusoire, ne ment jamais. Nous présumons qu'il y a une limite à notre crédulité perceptuelle, mais que notre tolérance est relativement élevée surtout lorsque les animations et mouvements sont crédibles (p. 2:16).

La compression et l'étirement sont ainsi un indice dynamique saillant qui montre, par le biais du mouvement, la densité et la nature de l'objet animé au spectateur. Les informations dynamiques, telle l'élasticité, ajoutent aussi de la crédibilité physique à une illusion visuelle qui est souvent composée de formes simplifiées (voir chap. 6). Le degré de déformation est déterminé par la matière de l'objet animé. Plus l'objet est censé être dense et lourd, moins il est élastique et plus il se déforme, plus l'observateur a l'impression que l'objet est mou. Un bâton de baseball, par exemple, se déformera moins qu'une trompe d'éléphant ou un ballon d'eau. De surcroît, le style d'animation exerce beaucoup d'influence sur le degré de flexibilité de la forme animée. La forme est beaucoup plus fluide et flexible dans un *cartoon*, alors qu'une animation plus réaliste dans le style de Disney minimisera un peu plus l'étirement. En fait, à partir des années 1930, les animateurs de Disney délaissent la compression et l'étirement et expriment l'effet des forces dynamiques en utilisant le *follow through and overlapping action* (principe n^{o} 5, voir chap. 7). Donc, au lieu d'écraser un personnage qui atterrit, comme la balle est compressée à la figure 5.6, la force de l'atterrissage et la masse du personnage peuvent être exprimées dans le corps de ce dernier. Ses bras

peuvent ainsi poursuivre le mouvement, les genoux peuvent se plier pour absorber le choc, et des appendices divers (p. ex. vêtements et cheveux) peuvent continuer et terminer le mouvement.

Maintenant que les différents rôles perceptuels de la compression et de l'étirement ont été présentés, il est important de décrire le rôle du mouvement apparent dans les mouvements de caméra et dans l'illusion de continuité spatiale qu'est le montage hollywoodien. Ce travail nous permettra de terminer notre exploration de la nature du mouvement apparent et de passer aux couches ultérieures du mouvement animé qui seront décrites aux chapitres 6 et 7.

5.5 Le mouvement induit

D'abord identifié et étudié par le psychologue allemand Karl Duncker (1903–1940), le mouvement induit (*induced motion*, en anglais) est une illusion qui se produit lorsqu'un objet en mouvement allant dans une direction donne l'impression qu'un autre objet se déplace dans la direction opposée[50]. L'illusion se produit généralement lorsqu'un petit objet immobile est entouré par un gros objet en mouvement (Colman, 2015, p. 373 et 808; Schwartz, Bennett Lowell et Krantz, 2019, p. 231; VandenBos, 2007, p. 477). Cette illusion repose sur une règle perceptuelle fondamentale qui dicte que les éléments inanimés dans notre environnement sont immobiles et ne se déplaceront pas de leur propre gré. Les deux prochaines figures représentent deux phénomènes associés à cette illusion.

Si vous avez déjà été assis dans un train ou dans un autobus et que vous avez eu le sentiment en regardant par la fenêtre, que vous bougiez alors que c'était l'autre véhicule qui se déplaçait et non le vôtre, vous avez senti un mouvement induit (Colman, 2015, p. 808). Cette illusion est illustrée à la figure 5.12 et dans la vidéo qui l'accompagne : https://youtu.be/QhmdmYGoDk8. Un autre exemple de cette illusion est le *moon illusion*[51] (voir fig. 5.13) qui décrit le fait que la lune semble parfois se déplacer rapidement la nuit

Figure 5.12 : Mouvement induit – train

Image et vidéo créée par l'auteur.

[50] Le mouvement induit est aussi appelé « vection », qui vient du mot latin *vector*, qui désigne un porteur. L'ajout de « ion » indique le fait que l'observateur se sent emporté par le mouvement (Colman, 2015, p. 808).

[51] En fait, il existe deux « illusions de la lune ». La première est celle que nous venons de décrire. La seconde, qui s'applique aussi au soleil, est le fait qu'elle nous semble plus grosse lorsqu'elle est proche de l'horizon et plus petite lorsqu'elle est à son zénith. C'est une illusion, car la taille de son image rétinienne est la même (Kaufman et Rock, 1962).

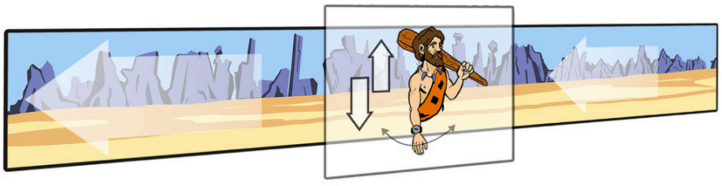
alors qu'elle est fixe et que ce sont plutôt les nuages qui bougent devant elle (Sekuler et Blake, 2006, p. 346). L'effet a été recréé ici par l'auteur : https://youtu.be/lYkxgv6nHjA. D'après Schwartz, Bennett Lowell et Krantz (2019), le mouvement induit peut également décrire le fait que nous avons l'impression que le monde se déplace autour de nous lorsque nous nous déplaçons dans un véhicule (p. 231). Cette attribution est potentiellement réductrice, car d'autres chercheurs apportent les nuances suivantes : Warren (1976, p. 448) utilise le terme *egomotion* pour décrire le déplacement actif ou passif de l'environnement par rapport à l'observateur. Lorsque l'observateur se déplace en bougeant son propre corps dans l'espace (p. ex. marcher, courir, sauter, plonger, etc.), le *egomotion* est qualifié d'actif. Lorsque l'observateur est déplacé par un véhicule, son *egomotion* est passif. Lorsque le sentiment de déplacement est une illusion, Gibson définit le phénomène passif comme étant de l'*ego induced movement* (2015 [1986], p. 176). Le jeu vidéo et la réalité virtuelle dépendent du mouvement induit pour donner l'impression à l'utilisateur qu'il se déplace à travers un environnement. Le sentiment de déplacement que nous éprouvons lorsque nous pilotons un avion dans un simulateur de vol ou conduisons une voiture dans un jeu de course est ainsi du *ego induced movement*.

Figure 5.13 : L'illusion de la lune

Image et vidéo créée par l'auteur.

Associé au phénomène de la parallaxe (voir chap. 2), l'illusion du mouvement induit est également utilisée en animation traditionnelle. En déplaçant le décor derrière un personnage qui marche sur place, comme s'il était sur un tapis roulant, nous avons l'impression que c'est le personnage qui se déplace et non l'arrière-plan. Nous avons ainsi l'impression de traquer le mouvement du personnage comme si nous le suivions dans un véhicule ou sur un chariot de caméra (Beckerman, 2003, p. 194). Gibson (2015 [1986]) observe aussi que le *dolly shot* dans les films en PVR produit le même effet (p. 176). Comme nous l'avons mentionné plus tôt, le mouvement de l'environnement dans une direction crée l'illusion du mouvement du personnage dans l'autre direction. Donc, si nous souhaitons créer une scène où un personnage marche de gauche à droite, il faut bouger le décor de droite à gauche. Puisque nous sommes sensibles aux mouvements des objets inanimés, le décor

Figure 5.14 : Le mouvement induit et le cycle de marche



Vidéo : https://youtu.be/otNTXx_THQ4. Figure et vidéo créée par l'auteur.

doit être animé à un. Il est aussi recommandé d'animer le personnage à un, surtout si nous voyons ses pieds toucher le sol. L'illusion est si convaincante qu'il n'est même pas nécessaire d'animer les jambes si elles n'apparaissent pas à l'écran. Il suffit d'animer le mouvement vertical du corps pour qu'il corresponde aux mouvements pendulaires des bras. La figure 5.14 illustre le mouvement de l'arrière-plan et la vidéo qui l'accompagne révèle l'artifice créé par le mouvement induit.

Dans *The Reality of Illusion* (1998, p. 90-110), Joseph D. Anderson propose que les mouvements apparents peuvent expliquer les mouvements de caméra et le montage de continuité hollywoodien. Selon Anderson, le passage d'une valeur de plan à une autre valeur de plan (p. ex. d'un plan d'ensemble à gros plan) correspond à un mouvement apparent de longue portée, car la caméra « saute » dans l'espace. Les mouvements de caméra sont des mouvements apparents de courte portée qui donnent l'impression, grâce au phénomène du *ego induced movement*, que nous nous déplaçons dans l'espace filmique de manière naturelle. Il est également possible d'expliquer certains « faux raccord » ou *jump cut* causés par un bris dans la règle des 30 degrés[52] à l'aide de cette théorie, car ces coupes dérangeantes sont essentiellement des mouvements de caméra dont le degré de déplacement n'est ni de longue portée ni de courte portée. Ces trois effets sont représentés, par l'auteur, dans la vidéo suivante : https://youtu.be/eL4gZXbeSm0. Cette description sommaire d'une théorie qui est déjà connue en études psychocinématiques (Shimamura, Arthur P., 2013, p. 8-9) démontre que le mouvement apparent est responsable pour des phénomènes fondamentaux autant en cinéma qu'en animation et, de ce fait, représente le premier pilier du cinéma d'animation. Mais, comme nous avons mentionné au début de ce chapitre, il n'est pas suffisant pour l'animatrice de produire un mouvement apparent qui fonctionne en s'assurant qu'il soit perceptuellement cohérent. Cet état n'est que la première étape dans un processus de bonification. Pour bien fonctionner, une animation doit d'abord être fidèle au mouvement qu'il imite. Pour ce faire, l'animatrice doit déterminer si le mouvement qu'elle tente de créer est animé ou inanimé.

[52] La règle des 30 degrés stipule qu'il faut déplacer la caméra d'au moins « 30 degrés » d'un plan à l'autre pour éviter que deux plans successifs causent un faux raccord (Bowen, 2018a, p. 257; 2018b, p. 171-173).

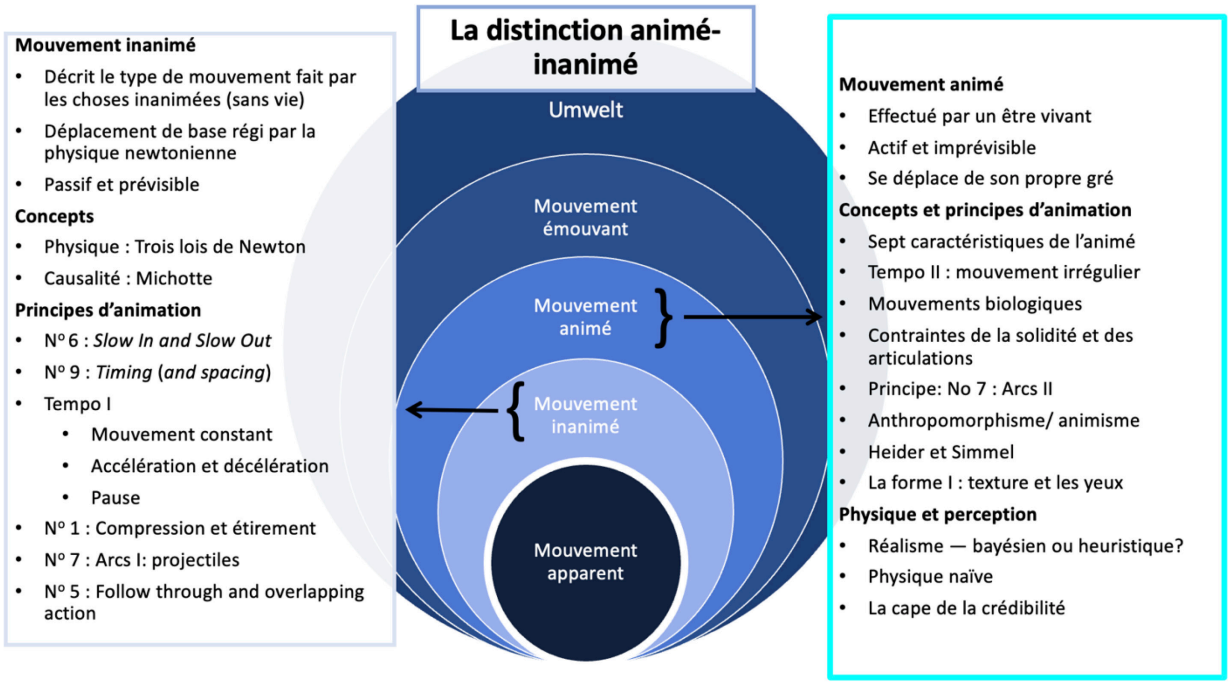
CHAPITRE 6

L'animé et l'inanimé

Les chapitres précédents nous ont permis d'avoir une meilleure compréhension des principes fondamentaux qui contribuent à la perception ainsi qu'à la réalisation de mouvements apparents. Bien que certains de ces phénomènes soient complexes, il est relativement facile pour une animatrice de créer l'impression qu'un objet se déplace à l'écran. Il ne faut cependant pas confondre ces premiers mouvements apparents élémentaires avec une animation professionnelle qui doit être non seulement fluide, mais expressive, convaincante et, surtout, vivante. Car, si elle est dépourvue de cet élan vital, les formes qui flottent à travers l'écran ne sont pas des entités « animées », mais des objets « inanimés » qui nous laissent indifférents. Le temps est donc venu d'examiner le fait qu'en plus de faire bouger des choses inanimées, l'animation peut donner l'impression que Mickey (un dessin), Pinocchio (une marionnette) et Luxo (une lampe) sont des êtres vivants dotés d'un esprit qui gouverne leurs actions. Par conséquent, Pinocchio n'est pas un jouet, mais un garçon et Luxo n'est pas une lampe, mais un enfant. Bien que Thomas et Johnson nomment ce phénomène *the illusion of life* dans leur livre du même nom (1981), le théoricien de l'animation Paul Wells (2012) remarque que l'animation n'est pas l'illusion de la vie, mais est plutôt « l'illusion de l'animation » (p. 202). Cette observation est plus qu'un jeu de mots intelligent, car l'animation exploite la capacité que possède le système visuel de distinguer ce qui est vivant (animé) de ce qui est inanimé. Plusieurs chercheurs, dont Opfer et Gelman (2011) et Rakison et Poulin-Dubois (2001), appellent cette habileté la distinction animé-inanimé (*animate-inanimate* [A-I] *distinction*, en anglais). La première partie de ce chapitre explore les origines de cette aptitude et identifie les attributs cinétiques, formels et psychologiques que le système perceptuel utilise pour distinguer un être vivant (animé) d'une chose ou un objet inerte (inanimé). Puisque les termes « animé » et « inanimé » désignent des concepts complexes et opposés, il est nécessaire, comme Rakison et Poulin-Dubois (2001, p. 210) l'ont fait, de les décrire en comparant et en contrastant leurs caractéristiques respectives. Nous commencerons par approfondir les propriétés cinétiques décrites au chapitre 1. Ceci nous permettra de présenter les études sur le mouvement qualifié de « biologique » et d'identifier quels types d'informations sont extraites de ce dernier. Puisque l'acte d'animer et le fait d'être animé ont une dimension psychologique presque mystique, nous ferons un survol du rapport entre le panpsychisme, l'animisme et l'animation. La deuxième partie de ce chapitre porte sur les facteurs et attributs visuels qui peuvent être exagérés pour créer un personnage qui est plus que réel.

Ayant à son cœur la distinction animé-inanimé, ce chapitre traite des différences entre le deuxième et le troisième palier concentriques du modèle introduit au sein du chapitre 5. Les caractéristiques principales de ces deux niveaux sont listées à la figure 6.1, qui a été créée par l'auteur.

Figure 6.1 : Les mouvements inanimés et animés



L'étude de ce qui distingue une entité animée d'un objet inanimé nous permettra de présenter les origines cognitives des trajectoires arquées (*arcs*, principe d'animation n° 7). Nous commencerons également à explorer le pouvoir perceptuel de l'exagération (n°10) qui imprègne toutes les notions abordées dans ce chapitre et le suivant.

6.1 Les origines de la distinction animé-inanimé

Les scientifiques utilisent la méthode linnéenne, développée au XVIIIe siècle par le botaniste suédois Carl von Linné, pour classifier tout ce que nous percevons en catégories hiérarchiques (Okasha, 2016, p. 97), dont le taxon (ou *taxum*), qui identifie l'espèce de l'organisme et son « rang » (*ranks*, en anglais) (Atran, 1999a, p. 317; Okasha, 2016; Pécaud, 2018, p. 17)[1]. Une des catégories les plus élémentaires que nous utilisons concerne le fait que certaines choses sont animées et vivantes, alors que d'autres ne le sont pas.

[1] Scott Atran, un expert en *folk biology*, qui est l'étude cognitive de la façon dont les personnes classifient les choses dans le monde organique (Atran, 1999a, p. 317), note qu'il ne faut pas confondre les taxa, qui sont les groupes qui constituent un système de classification scientifique, avec les rangs, qui sont les catégories employées naturellement par les gens à travers le monde (Atran, 1999c, p. 234).

Notre capacité instinctive de distinguer automatiquement l'animé de l'inanimé est une habileté universelle, indifféremment de la culture de l'individu (Atran, 1999b, p. 318), et observée chez les enfants en bas âge. Rakison et Poulin-Dubois (2001, p. 210) croient donc qu'elle est une des premières catégories que nous apprenons à former, probablement parce qu'elle est si importante à notre survie (Opfer et Gelman, 2011)[2]. Après avoir établi qu'une chose est vivante, nous déterminons à quel royaume, ou *folk kingdom*, elle appartient. Plus précisément, nous nous demandons s'il s'agit d'une plante ou d'un animal. Cette distinction catégorique est logique, car même si les plantes sont des organismes vivants, leurs mouvements imperceptiblement lents font en sorte que tous les végétaux nous semblent inanimés (voir chap. 1)[3]. Les véhicules sont une autre catégorie ambiguë (Mandler *et al.*, 1991), car ils demeurent des objets inanimés qui sont généralement pilotés par un individu (Rakison et Poulin-Dubois, 2001, p. 210). Nous avons illustré cette ambiguïté dans la vidéo suivante : https://youtu.be/LUlY3cQ6wlM, où une voiture-jouet devient soudainement animée lorsqu'un conducteur invisible prend le contrôle de son véhicule pour ne pas frapper une petite fille.

Initialement, le nourrisson se fie strictement aux informations visibles et à la manière dont une chose bouge pour différencier l'animé de l'inanimé. Par exemple, à partir de 18 mois, l'enfant cherche à établir si un mouvement a une cause psychologique (Baldwin et Baird, 1999, p. 218-219). Comme nous l'avions mentionné au chapitre 1, puisqu'elle n'est pas habitée ou gouvernée par un esprit, une conscience ou une intelligence, une chose inanimée ne peut pas se déplacer par elle-même. Elle reste passive et il n'y a que des forces externes qui puissent changer son état et la faire bouger. Ces forces peuvent être celles de la physique et de la nature (p. ex. la gravité, la friction, l'énergie, le vent, etc.). Si l'enfant infère qu'aucune force externe n'a provoqué le mouvement de l'objet, ce dernier est catégorisé comme étant inanimé. À l'inverse, si une cause psychologique est détectée et que l'objet se déplace de son propre gré, l'objet devient une entité animée (Rakison et Poulin-Dubois, 2001, p. 220). Entre 3 et 4 ans, l'enfant commence à utiliser des informations biologiques qu'il ne peut pas observer directement pour classer ce qu'il discerne. Par exemple, un enfant de 4 ans associera l'habileté de pouvoir pondre des œufs à un être animé

[2] Rakison et Poulin-Dubois basent cette hypothèse sur les travaux de Patterson et Hodges (1995). Ces derniers, cités par Mandler et McDonough (1998, p. 1275), postulent que les premières catégories qui sont apprises sont les dernières à être perdues. Puisque la distinction animé-inanimé est une des dernières catégories à disparaitre chez les patients atteints de la maladie d'Alzheimer, il est logique de proposer que cette distinction soit une des premières à être acquise.

[3] Après la distinction animé-inanimé, les rangs sont, allant du général au particulier : *folk kingdom* ; *life form* (p. ex. insecte, reptile, poisson, mammifère, arbre, herbe, buisson, etc.) ; espèce générique (abeille, serpent, truite, chien, érable, etc.) ; *folk specific* (vipère, truite arc-en-ciel, labrador, érable argenté [*Acer saccharinum*]) et le *folk varietal* (serpent à sonnette, retriever du Labrador, etc.) (Atran, 1999b, p. 122). Il faut noter que nous faisons la différence entre les « mammifères » et les « mammifères qui sont des êtres humains ».

(p. 210). Le système perceptuel intègre ainsi avec l'âge des notions de causalité psychologique pour expliquer le comportement de certaines entités (p. 224). Il demeure néanmoins que même à l'âge adulte, les indices cinétiques visibles continuent d'être notre première source d'informations pour distinguer l'animé de l'inanimé.

Les trajectoires irrégulières et le mouvement spontané sont des signes qu'il y a une intention, un esprit derrière les mouvements. Puisque ces mouvements semblent avoir un objectif et être délibérés, nous pouvons les qualifier d'actions ou de gestes effectués par une entité ayant de l'agentivité. Epley (2015) remarque aussi que plus une chose est imprévisible et ne fonctionne pas, plus nous lui attribuons de la sentience. Notre voiture, notre ordinateur et notre imprimante restent ainsi des objets inanimés, jusqu'à ce qu'ils cessent de fonctionner et tentent de contrecarrer nos efforts et notre bien-être (p. 73-74). Cet exemple illustre le fait qu'une chose peut facilement passer du statut « inanimé » au taxum « animé ». Par contre, le fait de catégoriser quelque chose comme « animé » semble être un taxum permanent. En d'autres mots, dès qu'une chose est jugée vivante, elle le restera à nos yeux, probablement pour des raisons de survie. Donc, même si elle demeure immobile, elle sera perçue comme étant tout simplement au repos, pouvant s'éveiller à tout moment (pour nous attaquer). Nous croyons que la seule solution pour qu'elle devienne inanimée est qu'elle meure ou disparaisse de l'écran. Là encore, il faudrait que la mort soit explicite, car les créatures en animation sont résilientes et leur corps protoplasmique peut subir énormément de dommages sans qu'il y ait de conséquences permanentes sur leur état de santé.

Les caractéristiques employées par le système perceptuel pour distinguer l'animé de l'inanimé sont listées au tableau 6.1. Notre source est la recension des écrits effectuée par Rakison et Poulin-Dubois (2001). Ces derniers identifient sept indices perceptuels cinétiques utilisés par les enfants pour distinguer l'animé de l'inanimé. Puisque nous nous intéressons aux facteurs employés, peu importe l'âge de l'individu, nous avons ajouté les caractéristiques formelles identifiées par d'autres chercheurs, dont Opfer et Gelman (2011). Bien que ce tableau identifie les grandes caractéristiques qui distinguent l'animé de l'inanimé, il est pertinent de décrire chaque catégorie (cinétique, formelle et psychologique) en détail, car chacune de celles-ci décrit un aspect fondamental du cinéma d'animation. Il faudra aussi présenter les travaux de Epley *et al*. (Epley *et al.*, 2008; Epley *et al.*, 2007; Waytz *et al.*, 2010), car ces derniers formulent une théorie en trois parties qui explique potentiellement le pouvoir anthropomorphique de l'animation.

Tableau 6.1 : La distinction animé-inanimé			
	Caractéristique	**Inanimé**	**Animée**
Mouvement	**1 – Début du mouvement** (*Onset of motion*) Question : L'objet a-t-il amorcé son propre mouvement (Rakison et Poulin-Dubois, 2001, p. 213) ?	**Mouvement causé** Le mouvement de l'objet a été provoqué par un autre objet ou une autre force externe.	**Autopropulsé** (*Self-propelled*) L'objet a amorcé son propre mouvement, car il possède une force interne.
	2 – Type de trajectoire (p. 214) La trajectoire est-elle lisse ou irrégulière (s*mooth or irregular*) ?	**Lisse/droite – mouvement prévisible** Les mouvements inanimés sont prévisibles et suivent des trajectoires.	**Irrégulière – mouvement imprévisible** Le mouvement biologique produit des trajectoires irrégulières et arquées (principe d'animation n^{o} 7 – trajectoires arquées).
	3– Nature de la causalité cinétique (*Form of causal action*) Question : En contact physique ou à distance ? (p. 214-215)	**Contact direct** Un objet inanimé doit être en contact avec une autre force avant de bouger.	**À distance** Le mouvement peut être causé à distance, sans qu'il y ait contact entre les objets. Par exemple, un être animé peut avoir peur d'un objet qui s'apprête à le heurter et se déplacer pour éviter la collision.
	4 – Type d'interaction (*Pattern of interaction*) (p. 215-216) Y a-t-il une interaction entre l'observateur et l'objet ?	**Aucun échange** ou interaction entre l'observateur et l'objet ou entre les objets à l'écran	**Interaction** Il y a une interaction ou des échanges sociaux entre l'observateur et l'entité ou entre les entités dans le stimulus. L'observateur réagit à des caractéristiques qu'il partage avec l'entité.
	5 – Type de rôle causal (p. 216-217) La chose en mouvement est-elle un agent actif ou un récipiendaire passif ?	L'objet inanimé est un récipiendaire passif qui subit l'action.	« Agent provocateur » L'entité cause l'événement ou l'action.
Psychologie	**6 – Objectif de l'action** (*Purpose of action*) Orientée vers un but ou sans but (p. 217-218)	Le mouvement n'a pas de but précis.	Le mouvement est une action ayant un objectif.
	7 – Influence des états mentaux (p. 218-220) Le mouvement est-il intentionnel ou accidentel ?	Mouvement accidentel	Le mouvement est délibéré et intentionnel.
Forme	**8 – Texture** : organique/animale ou inorganique (voir chap. 3)	Texture inorganique (p. ex. roche ou métal) Texture végétale (p. ex. écorce, feuilles, etc.)	Texture animale : peau, fourrure, plumes, écailles, etc.
	9 – Visage	Aucun visage détectable	Présence d'un visage
	10 – Yeux (Opfer et Gelman, 2011, p. 16-17)	Absence d'yeux	L'entité possède des yeux

Les prochaines sections examineront chacun de ces trois volets, en commençant par les études réalisées par Michotte, Heider et Simmel sur la causalité et la perception d'anthropomorphisme.

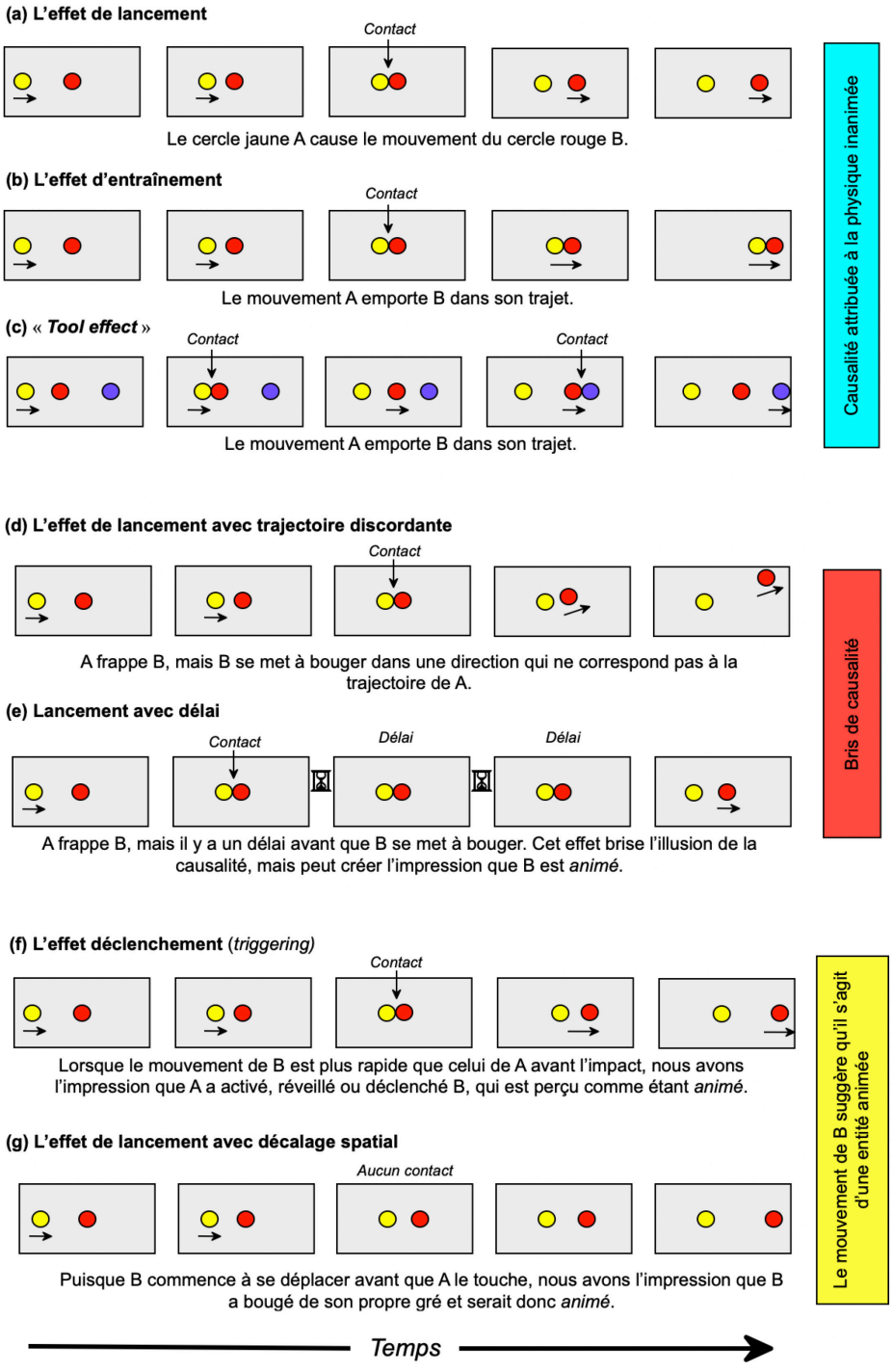
6.2 Le mouvement animé et la causalité

La causalité joue un rôle important dans la distinction animé-inanimé (caractéristique n° 3 du tableau 6.1), car si un objet se met soudainement à bouger sans cause apparente, nous supposons qu'il s'agit d'une entité vivante, possédant un esprit et ayant amorcé le mouvement. Le pionnier des recherches sur la causalité perceptuelle est le psychologue belge Albert Michotte, qui publie *La perception de la causalité* (1946) sur le sujet. Bien que le manque de rigueur expérimentale de Michotte amène certains experts à remettre ses recherches en cause (Joynson, 1971), les phénomènes qu'il identifie et décrit ont été étudiés et reproduits par d'autres chercheurs. En fait, comme le note White (1988), qui est cité par Scholl et Tremoulet (2000, p. 301), les impressions de causalité sont si évidentes, fortes et instantanées qu'elles peuvent être perçues même lorsque les stimuli sont imparfaits. Il est important de présenter un survol des découvertes de Michotte, car celles-ci décrivent de manière scientifique les facteurs et paramètres techniques employés par l'animatrice cherchant à créer l'illusion que les actions et phénomènes s'enchaînent naturellement à l'écran. Les principes de Michotte sont aussi utiles, car ils constituent un outil de diagnostic qui permet d'identifier pourquoi l'illusion de la causalité ne fonctionne pas.

La plupart des phénomènes découverts et décrits par Michotte sont des variations de l'expérience suivante. Sur un écran, un objet A se déplace à l'horizontale et frappe un objet B qui est jusqu'alors immobile. Suivant le contact, l'objet B se déplace en poursuivant la trajectoire de A, qui est maintenant immobile. Puisque le mouvement de A semble avoir provoqué le mouvement de B, Michotte (2017 [1963], p. 21) appelle ce phénomène perceptuel de causalité : « l'effet de lancement »[1] (fig. 6.2a). Les deux autres effets qui provoquent une impression causale sont illustrés à la figure 6.2. Ces derniers sont « l'effet d'entraînement » (6.2b), où A emporte B avec lui après l'avoir frappé, et le *tool effect* (6.2c), où A utilise B comme un outil pour causer le mouvement d'un autre cercle (C) (Scholl et Tremoulet, 2000, p. 300).

[1] Puisqu'il a été impossible de consulter *La perception de la causalité* (Michotte, 1946) dans sa version originale en français, il a fallu se référer à sa traduction, *The Perception of Causality* (Michotte, 2017 [1963]). Cette version comprend un glossaire des traducteurs (p. xv-xvi). Nous reprenons donc les termes originaux employés par Michotte en français pour décrire les différents effets de causalité perceptuelle.

Figure 6.2 : Effets de causalité de Michotte



Nous avons illustré les phénomènes décrits par Michotte (2017 [1963]) à la figure 6.2. Puisque ses écrits sont denses et que ses résultats expérimentaux doivent être pris avec un grain de sel, nous avons basé notre tableau récapitulatif sur les figures de Scholl et Tremoulet (2000, p. 300) et de Kominsky *et al.* (2017, p. 2).

Bien qu'elles soient fortes, les impressions de causalité peuvent être éliminées en modifiant certains paramètres, dont la direction de B et le délai entre le moment où l'objet B est lancé. En premier lieu, si le délai entre l'arrêt de A et le lancement de B est trop long, nous n'avons plus l'impression que A a causé le mouvement et l'impression de causalité est perdue. Cet effet s'appelle **«** l'effet de lancement avec délai » (6.2e). La causalité est aussi brisée lorsque la direction de la trajectoire de B ne correspond pas à celle de A (6.2d). Les lois de la physique dictent que, peu importe la masse des objets, la vitesse de l'objet frappé (B) ne peut jamais excéder le double de la vitesse de A. Cela dit, puisque nous sommes habitués aux effets causés par la friction, par la résistance de l'air et par d'autres forces physiques et environnementales qui ralentissent les objets, nous interprétons le mouvement de B comme étant « animé » ou erroné s'il bouge plus rapidement que A (Kominsky *et al.*, 2017, p. 2). Michotte nomme ce phénomène, celui du déclenchement (6.2f), ou *triggering*, en anglais (Scholl et Tremoulet, 2000, p. 300). Ces facteurs sont d'une importance cruciale dans toute animation causale. En animant une scène impliquant deux objets inanimés qui sont sujets aux forces de la physique, l'animatrice doit s'assurer qu'il n'y ait pas de délai entre une action et une réaction, car la pause entre un contact et une réaction peut miner la crédibilité causale de la scène. Dépendamment de la nature des entités, la pause peut aussi indiquer que l'objet qui a été affecté attend avant de réagir. Puisqu'il attend, il doit nécessairement être une entité qui est animée par un esprit décisionnel et indépendant. Il faut aussi noter qu'une entité animée n'a pas besoin de réfléchir, car elle peut réagir rapidement et spontanément. Une autre façon de signaler que l'entité affectée est animée dans une collision est de s'assurer qu'il y a des différences entre la trajectoire de l'objet qui frappe et la trajectoire de l'entité qui est frappée.

Figure 6.3 : Heider et Simmel

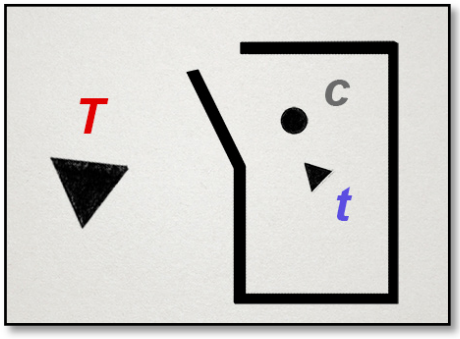


Image créée par l'auteur qui s'est inspiré d'une image tirée du film (Heider et Simmel, 1944b).

La découverte que le mouvement imprévisible est un des premiers repères de l'animisme est attribuée à Fritz Heider (1896–1988), un psychologue austro-américain gestaltiste, et la psychologue germano-américaine Marianne Simmel (1923–2010). Dans les années 1940, ce couple déplore le fait que peu d'études portent sur la psychologie des rapports sociaux (1944a). Puisque les quelques expériences réalisées sur l'interprétation des gestes et des expressions faciales sont peu concluantes et indiquent que nous nous référons à d'autres types d'informations (p. ex. la situation), Heider et Simmel veulent étudier le comportement en déterminant

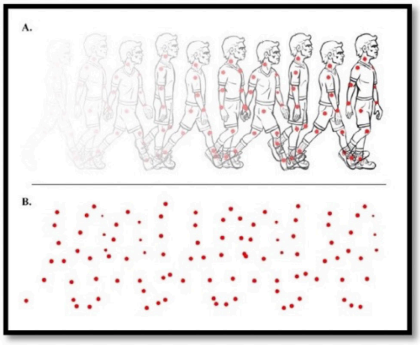
quelles informations peuvent être extraites d'une situation dynamique qui met en scène des agents qui n'ont pas de visage (p. 243-244). Pour atteindre cet objectif, ils produisent un court-métrage animé dans lequel trois formes géométriques (un gros triangle [T], un petit triangle [t] et un petit cercle [c]) se déplacent à l'écran (voir fig. 6.3 et le film au lien suivant : https://youtu.be/8FIEZXMUM2I [Heider et Simmel, 1944b]). L'animation est montrée à des participants qui doivent décrire ce qu'ils ont vu. Les chercheurs concluent que même si les formes sont abstraites et les mouvements sont simples, les participants infèrent spontanément des intentions complexes aux mouvements. Par exemple, presque tous les participants rapportent que le gros triangle, T, est un intimidateur (Heider et Simmel, 1944a, p. 248-250) jaloux de t et c. Le rectangle ouvert est interprété comme une maison, dans lequel T essaye de pénétrer en passant par l'ouverture perçue comme une porte (p. 253).

Le fait que les recherches et effets observés par Heider, Simmel et Michotte aient été répliqués à plusieurs reprises à travers le monde, dont au Zaïre (Rimé *et al.*, 1985), au Japon (Hashimoto, 1966) et en Chine (Morris et Peng, 1994, p. 950), démontre que les êtres humains sont hypersensibles aux informations sociales et émotionnelles qui peuvent être extraites de mouvements animés. Il n'y a pas de doute que les mouvements représentés dans le film de Heider et Simmel sont interprétés comme des intentions anthropomorphiques. Nous contestons toutefois l'avis de certains chercheurs qui suggèrent que les intentions perçues dans le film de Heider et Simmel sont produites par des mouvements aléatoires. Nicholas Epley, par exemple, décrit le film ainsi : « The video is nothing more than a big triangle, a small triangle, and a small circle moving around the screen, yet what you recognize almost instantly when trying to explain what's going on is that you're dealing with a lovers' quarrel » (Epley, 2015, p. 73). Le fond de ce résumé est juste, mais de telles descriptions insinuent que nous sommes à ce point sensibles aux informations animées et sociales que nous percevons des intentions là où il n'y en a pas. Ce que ces articles, savants et populaires (Ross, S., 2017; USCICT, 2014), omettent est que Heider et Simmel (1944a) n'ont pas animé des formes au hasard, mais ont réalisé un film d'animation en suivant un scénario simple qui a été déterminé avant le tournage (p. 245). Par conséquent, les actions dramatiques que nous percevons en regardant leur film ne sont pas le fruit de mouvements faits au hasard sous la caméra, mais représentent précisément ce que les savants ont voulu illustrer en animation. Par conséquent, en plus de démontrer la facilité avec laquelle nous attribuons des intentions anthropomorphiques lorsque nous sommes exposés à certains types de mouvement, l'étude de Heider et Simmel illustre la capacité de l'animation à transmettre des informations psychologiques complexes à travers les mouvements biologiques de formes simples.

6.3 Le mouvement biologique et les trajectoires arquées

Puisque les êtres vivants ont des squelettes composés d'os articulés par des muscles, les mouvements qu'ils produisent ont certaines particularités cinétiques. Pour des raisons de survie, le système perceptuel humain est particulièrement sensible à ces mouvements qui sont qualifiés de « biologiques » par les savants. L'étude du mouvement biologique se définit comme étant : « the study of the perception of intrinsic, deformable motion of animals and people by means of stimuli that are stylized in order to keep information by channels other than kinematics of the body at a minimum » (Troje, 2013, p. 10). Ce type de recherche est initié par le psychophysicien et gestaltiste suédois Gunnar Johansson (1911–1998) qui, dans les années 1970, attache des rubans réflecteurs aux articulations d'une assistante (Johansson, 1973, p. 202)[2]. Il la filme alors qu'elle marche et effectue d'autres actions simples (voir fig. 6.4A). La forme est éliminée des stimuli visuels et les vidéos sont montrées à des participants qui doivent identifier l'action réalisée par l'actrice invisible en ne voyant que les points lumineux en mouvement (voir figure 6.4B). Cette technique, qui présage la capture de mouvement employée en animation[3], porte le nom de *point light display* (PLD), en anglais. Johansson découvre que le système visuel extrait énormément d'informations à partir des repères cinétiques que nous observons. Même si la forme de l'actrice est retirée du stimulus, il ne faut que 200 millisecondes au participant pour identifier un marcheur en ne voyant que cinq ou

Figure 6.4 : Méthode employée pour étudier le mouvement biologique



A. Des points lumineux ou marqueurs sont attachés aux articulations d'une personne. La position des marqueurs est enregistrée.

B. La figure humaine est enlevée du stimulus et le mouvement des points est montré aux participants.

Figure créée par l'auteur.

[2] Initialement, ce sont des ampoules de lampes de poche, plutôt que des rubans réflecteurs, qui sont attachées aux articulations de l'actrice qui porte un costume sombre et serré. Ses mouvements sont filmés sur pellicule 16 mm dans l'obscurité. Bien que cette méthode fonctionne lorsque les mouvements sont simples, les ampoules sont remplacées par le ruban, car les fils électriques qui alimentent les lumières limitent de beaucoup la mobilité de l'actrice. La pellicule est aussi abandonnée et les mouvements sont filmés sur vidéo (Johansson, 1973, p. 202).

[3] D'après Galloway (2014, p. 61-63), les origines de la capture de mouvement et de l'animation 3D remontent au travail de Christian Wilhelm Braune et de Otto Fischer. Ces derniers développent dans les années 1890 en Allemagne un système capable de capter les coordonnées spatiales en x, y, et z des parties du corps de quelqu'un en mouvement. La personne, dont les mouvements sont enregistrés par quatre caméras, est habillée d'un costume en tricot noir serré qui ressemble à celui utilisé dans un système de capture moderne. Par contre, les fils électriques qui alimentent les lumières du costume sont attachés à une sorte de couronne placée sur la tête de la personne pour que ses mouvements ne soient pas limités. Le modèle doit également porter des souliers en cuir épais pour réduire le risque d'électrocution (Siegfried et Gloria, 2006, p. 245 et 248).

dix points lumineux se déplacer à l'écran (Johansson, 1976, p. 382). Les autres actions (p. ex. courir, danser, sauter, etc.) prennent un peu plus de temps à identifier (p. 384-385). Les études subséquentes sur le mouvement biologique corroborent les résultats de Johansson. Bertenthal *et al.* (1984) démontrent que nous inférons d'autres renseignements divers du mouvement animé. Les informations que nous obtenons des PLD nous permettent ainsi d'identifier une action, sa direction ainsi que son orientation (Johansson, 1973, 1976; Walk et Homan, 1984). Il est possible de déterminer le sexe biologique de la personne (Barclay *et al.*, 1978; Kozlowski et Cutting, 1978; Mather et Murdoch, 1994; Troje, 2002; Troje *et al.*, 2006) et de reconnaître des gens par leur démarche (Cutting, James E et Kozlowski, 1977; Troje *et al.*, 2005). Hill et Pollick (2000) démontrent qu'un observateur peut même apprendre à reconnaître les mouvements d'individus en ne voyant que le déplacement de leurs bras. Il est possible de percevoir l'état émotionnel d'une personne (Dittrich, Troscianko, Lea et al., 1996; Troje, 2002) et ses intentions (Blakemore et Decety, 2001). Walk et Homan (1984) démontrent que, même sans voir la tête et conséquemment les expressions faciales d'une personne : « Twelve points of light revealed emotion as accurately as have traditional studies of emotional expression » (p. 439)[4]. Nous sommes aussi plus sensibles à certaines émotions que d'autres. Des six émotions discrètes identifiées par Charles Darwin (1872), la colère est l'émotion la plus saillante[5] (Chouchourelou et al. 2006). Il faut toutefois noter que les informations recueillies dans des études portant sur l'identification des états émotionnels et du comportement sont probablement inférées de performances qui sont exagérées et stéréotypiques[6], car d'après la théorie de la transparence, nous sommes beaucoup moins expressifs que nous le croyons (Gilovich *et al.*, 1998). Notre habileté à inférer des renseignements à partir de la perception de mouvement biologique est complètement éliminée lorsque les points lumineux sont immobiles. Elle s'améliore plus il y a de points lumineux dans les stimuli et plus la durée de l'exposition aux animations est longue (Blake et Shiffrar, 2007; Neri *et al.*, 1998). Elle est également réduite lorsque les stimuli sont présentés à l'envers. Il est logique que le système perceptuel tienne compte de la gravité lorsqu'il interprète ce qui est perçu, car celle-ci a joué un rôle déterminant dans l'évolution de tout organisme vivant sur notre planète. Le rôle de la gravité en

[4] La perception d'émotions dans le mouvement a aussi une dimension sociale, car : « observers viewing these animations were better able to judge the emotion being expressed when they could see both PL actors, not just one or the other. Social context, in other words, aided perception of emotion » (Blake et Shiffrar, 2007, p. 58).

[5] Après la colère, la tristesse et la joie sont les émotions les plus détectables, suivies par la surprise et la peur (Coulson, 2004, p. 118; Walk et Homan, 1984; Walters et Walk, 1986).

[6] Par exemple, bien qu'il soit tout à fait possible que nous signalions consciemment ou inconsciemment notre orientation sexuelle par nos mouvements, nous croyons que les recherches proposant qu'il est possible d'inférer l'orientation sexuelle à partir de mouvements biologiques sont basées sur des performances exagérées et stéréotypiques (Ambady *et al.*, 1999; Johnson, K. L. *et al.*, 2007).

animation sera traité au chapitre prochain.

Troje et Westhoff (2006) proposent que notre sensibilité aux mouvements biologiques illustre le fait que notre système de perception est un véritable *life detector* ou détecteur de vie. Cette habileté semble aussi être une caractéristique fondamentale de la perception, car Bertenthal *et al.* (1984) démontrent à l'aide de *point light display* (PLD) que les nourrissons de 3 à 6 mois préfèrent regarder les mouvements biologiques d'un marcheur aux mouvements aléatoires de points lumineux. Il est important de rappeler que la vélocité joue un rôle déterminant dans la distinction animé-inanimé, car nous sommes sensibles aux déplacements dont la vitesse correspond à celle de nos propres mouvements (voir chap. 1). Il y a ainsi une vitesse anthropomorphique optimale, qui n'est ni trop lente, ni trop rapide (Morewedge *et al.*, 2007). Si les chercheurs semblent être surpris par leurs découvertes, la valeur informative des mouvements purs ne surprend pas nécessairement l'animatrice qui les reconnaît rapidement pour ce qu'ils sont. Puisque l'animation réaliste cherche à émuler le mouvement biologique, les mouvements, les expressions et les actions encodés dans les PLD représentent les mêmes mouvements, expressions et actions qui sont produits image par image par l'animatrice. Voilà pourquoi les données des PLD ainsi que celles saisies durant une séance de capture de mouvement encodent la même information cinétique. Par conséquent, il serait possible de transférer les informations captées par un scientifique à une animation en 3D.

Figure 6.5 : Les arcs du mouvement biologique

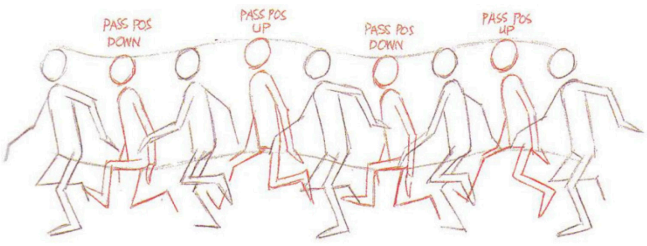


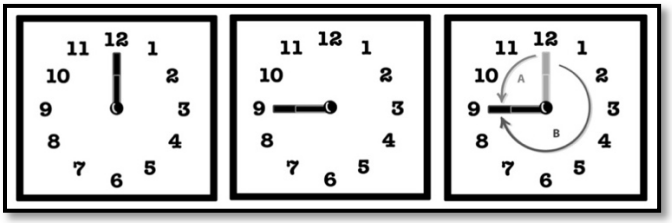
Image prise de Williams, R. (2001, p. 185)

Puisque nos corps sont formés de parties mobiles (bras et jambes) qui sont fixées ensemble à l'aide de joints à rotule (épaules et genoux), nos membres se balancent dans l'espace comme des pendules. Ce système d'oscillateurs biomécaniques produit des mouvements qui suivent des trajectoires arquées et circulaires. Et, lorsque tout notre corps se déplace, le mouvement de nos jambes et de nos bras forme des vagues dans l'espace (voir fig. 6.5). Étant sensibles à ce type de trajectoire, qui caractérise nos propres mouvements et ceux d'autrui, nous le détectons presque instantanément dans l'environnement et interprétons les intentions de ceux que nous percevons sans avoir besoin de voir les informations formelles. Puisque ces mouvements sont arqués, les mouvements effectués par des êtres vivants en animation doivent émuler le même type de trajectoires arquées. C'est l'essence du principe n° 7 – *arcs* qui a été décrit au chapitre 2 (Beckerman, 2003, p. 176-

177; Thomas et Johnston, 1981, p. 62-63). Les notions associées et contenues dans les mouvements biologiques sont donc intégrées aux pratiques et maximes du cinéma d'animation. Cela dit, le mouvement biologique influence le mouvement en animation d'une autre façon dont l'animatrice n'est pas nécessairement consciente. En fait, le mouvement biologique animé est si important d'un point de vue évolutif qu'il est perçu différemment d'un mouvement inanimé.

6.4 Les contraintes du mouvement animé

Lorsque deux images d'une entité en mouvement sont présentées successivement, nous voyons l'objet se déplacer d'une position à l'autre. C'est évidemment le principe du mouvement apparent (Colman, 2015). Si nous avons déterminé que l'entité observée n'est pas vivante (inanimée), le mouvement apparent perçu empruntera toujours le parcours le plus court, peu importe la vitesse à laquelle les images sont présentées (fig. 6.6).



6.6a 6.6b 6.6c

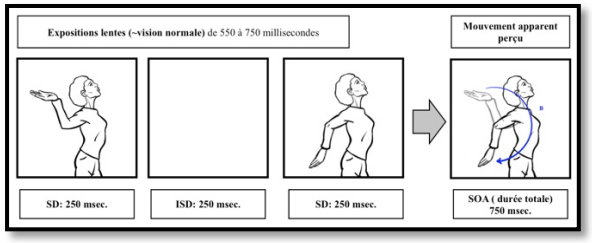
Illustrations inspirées par Shiffrar et Freyd (1990).

Figure 6.6 : Le mouvement apparent d'un objet et le chemin le plus court
Le mouvement apparent perçu lorsque deux images d'un objet inanimé sont présentées de manière successive (6.6a et 6.6b) emprunte toujours la trajectoire la plus courte (6.6c [A] même s'il était logique que les aiguilles empruntent la trajectoire la plus longue [6.6c →B), puisque celle-ci correspond au sens logique d'un mouvement horaire.

Bien que la règle du parcours le plus court soit le premier axiome du mouvement apparent (voir chap. 4), Shiffrar et Freyd (1990, 1993) constatent que le système perceptuel peut l'ignorer lorsque ce qui se déplace est identifié comme étant « animé ». Si c'est le cas, deux contraintes qui sont propres à un organisme biologique peuvent influencer la trajectoire perçue. La première contrainte, celle de la solidité, dicte qu'une partie du corps ne peut pas passer à travers une autre partie du corps. La deuxième contrainte, celle des articulations, veut que les mouvements corporels doivent suivre et respecter la logique physiologique des os et des articulations. Par conséquent, lorsque nous voyons le mouvement apparent d'une entité animée à des vitesses qui se rapprochent de notre vision normale (*stimulus onset*

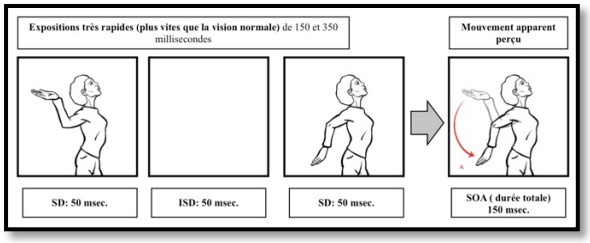
asynchrony [SOA] de 550 à 750 millisecondes)[7], le mouvement apparent empruntera le chemin le plus long si le chemin le plus court transgresse les contraintes des articulations (fig. 6.7) ou la contrainte de la solidité (fig. 6.9c).

Figure 6.7 : Mouvement apparent à des SOA lents



À des vitesses (SOA) qui se rapprochent de la vision normale, le mouvement apparent qui est perçu prendra la trajectoire naturelle du corps (B) en respectant les contraintes d'articulations du corps même si le chemin est plus long.

Figure 6.8 : Mouvement apparent à des SOA rapides

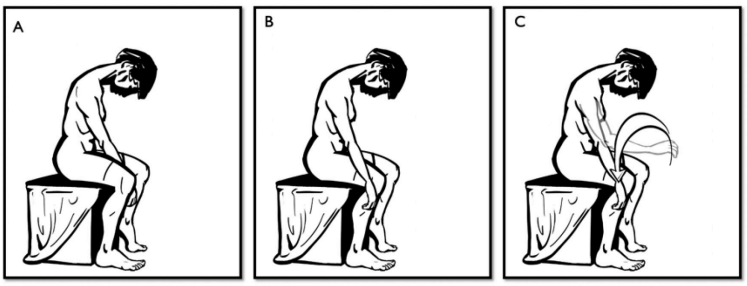


À des vitesses (SOA) très rapides, le mouvement apparent perçu ne respectera pas les contraintes d'articulations et empruntera la trajectoire la plus courte (A) comme si nous percevions l'entité comme étant inanimée. Figures créées par l'auteur à partir de Blake et Shiffrar (2007, p. 50)

Notre perception du mouvement apparent fera cependant fi de ces deux contraintes et empruntera le chemin le plus court (fig. 6.9) à des vitesses qui sont plus rapides que la normale (SOA de 150 et 350 millisecondes) (Blakemore et Decety, 2001; Shiffrar et Freyd, 1990, 1993).

Le système visuel tient probablement compte de la structure anatomique du corps et de la solidité intrinsèque de la matière, parce que la perception de mouvements réalistes est traitée par la même partie du cerveau qui régit nos propres mouvements (Stevens, Fonlupt, Shiffrar et Decety, 2000). Les chercheurs proposent donc que : « […] human movement is constrained by an observer's knowledge of or experience with his or her own movement limitation » (Blakemore et Decety, 2001, p. 563). La contrainte de la solidité est illustrée à la figure 6.9 qui s'inspire d'une photo trouvée dans Stevens, J. A. *et al.* (2000, p. 110). À des vitesses rapides, la règle du

Figure 6.9 : Contrainte de la solidité



Images créées par l'auteur.

[7] Nous avons vu au chapitre 4 que le SD désigne la durée du stimulus (SD ou stimulus duration) et que les termes ISD (*interstimulus duration*) et ISI (interstimulus interval) représentent la durée de l'intervalle entre les stimuli. Le *stimulus onset asynchrony* (SOA) est la somme de ces valeurs (SD + ISI = SOA) (Colman, 2015, p. 731). L'image qui est présentée lors de l'intervalle séparant les stimuli (ISI) est souvent une image blanche.

parcours le plus court est plus forte que la contrainte de la solidité de la matière. Par conséquent, le mouvement apparent du bras à la position 6.9A passe à la position 6.9B en traversant directement la jambe en avant-plan, comme si celle-ci était intangible. Cependant, à des vitesses normales, la contrainte de la solidité est respectée et le bras va de A à B en passant par-dessus la jambe (fig. 6.9C). Nous avons également illustré un bris de la contrainte des articulations dans la vidéo suivante : https://youtu.be/MijEwlLN8go. Puisque les recherches en psychologie utilisent des photos de vraies personnes et non des illustrations dans leurs expériences[8], nous ne savons pas comment les contraintes sont respectées lorsque la forme animée représente un personnage stylisé. Il est donc pertinent de se demander comment ces règles s'appliquent à la forme animée qui est malléable et protoplasmique (voir chap. 5).

6.5 La forme animée

Alors que le mouvement nous permet de déterminer rapidement si une chose est animée ou inanimée, ce sont les repères visuels qui nous permettent en grande partie d'identifier ce que nous voyons. Par conséquent, en plus de fournir des indices anthropomorphiques, la forme et l'apparence d'une chose nous aident à déterminer à quel taxum ou à quel rang celle-ci appartient. D'après les modèles perceptuels appelés *similarity-based models* par Smith et Medin (1981), le système apprend à regrouper en catégories distinctes les choses qui ont le même air de famille, ou *family resemblance*, en anglais (Hunn, 1982; Rosch et Mervis, 1975). Ces catégories sont formées par notre expérience du monde. Nous apprenons donc avec le temps qu'une créature terrestre d'une certaine taille, qui a de la fourrure, qui aboie, et nous suit en remuant la queue, appartient à la famille des canidés et est probablement un chien (Atran, 1999c, p. 244). Puisque le système d'identification est initialement à la recherche d'informations globales, nous apprenons que les informations fournies par le contour, la texture et la surface d'une chose sont généralement des indicateurs fiables quant à son rang. Comme nous l'avons décrit et illustré au chapitre 4 (voir fig. 4.13), Opfer et Gelman (2011, p. 217) remarquent qu'une surface métallique signifie généralement que l'objet est inanimé, alors que de la fourrure suggère qu'il s'agit d'un animal, qui est un mammifère. Nous apprenons aussi à associer les écailles à la catégorie « poisson » et les plumes aux oiseaux. Puisque les informations sensorielles sont souvent discontinues et incomplètes, le processus taxonomique de bas niveau permet dans un premier temps de créer des entités perceptuelles cohérentes ou « gestalts » à partir d'informations fragmentaires (Atran, 1999c, p. 244). La formation de ce que nous

[8] Bien que les figures 7, 8 et 9 soient des dessins, elles sont basées sur les photos qui ont été utilisées comme stimuli expérimentaux dans les recherches qui ont été citées.

surnommons des « gestalts taxonomiques » est importante sur le plan évolutif, car, en identifiant les choses dans l'environnement, nous pouvons réagir à leur présence. En fait, comme nous l'avons déjà mentionné, c'est d'abord la détection d'un mouvement (par la voie dorsale) qui signale au système perceptuel qu'il y a quelque chose dans l'environnement. Ensuite, le système d'identification, associé à la voie dorsale et aux réseaux neuronaux (voir chap. 1 et 2), nous permet de déterminer le rang et, conséquemment, le niveau de danger posé par la chose qui a bougé. Une gerboise (petit rongeur dodu) est ainsi moins dangereuse que la présence d'un smilodon (gros félin à dents de sabre) dans l'environnement. Puisque nous catégorisons les choses que nous voyons, il est important de se demander comment le système perceptuel classifie un personnage animé, car ce dernier a des propriétés physiques particulières qui peuvent contrevenir aux caractéristiques que nous employons pour classer une chose réelle. Après tout, en animation et dans les arts, il est possible de mettre en scène un robot qui vole grâce à des ailes d'oiseau, des morts-vivants, des arbres ambulants, des morceaux de fromage qui chantent, ou un personnage dont le corps n'est pas recouvert de peau, mais formé de pierres. Puisque ces personnages combinent, mêlent et confondent des repères visuels qui sont employés dans la catégorisation et dans la distinction animé-inanimé, il est pertinent de se poser des questions quant à leur statut taxonomique. Nous croyons que la forme animée est une catégorie perceptuelle unique. Puisque les corps animés ont différentes propriétés selon le film et le genre cinématographique, nous postulons l'existence d'un *taxum animatum* (rang ou taxum animé) qui est composé de divers taxa, dont l'« animéidé »[9]. N'ayant pas trouvé de concepts équivalents dans les écrits, nous avons inventé les termes *taxum animatum* et « animéidé ». Cette sous-catégorie regroupe de nombreux *cartoons* américains créés durant la première moitié du XXe siècle (p. ex. Mickey, Félix, Bugs, Betty, etc.) mettant en scène des personnages dont le corps filiforme atténue l'influence de la contrainte des articulations sur la perception du mouvement apparent. Notre hypothèse s'appuie sur deux phénomènes : 1) la crédulité du système visuel et 2) l'aise avec laquelle une animatrice peut ignorer la contrainte des articulations.

Les recherches développementales indiquent que les catégories, formées initialement par les attributs perceptuels, s'enrichissent et se raffinent avec l'apprentissage expérientiel et l'acquisition de concepts linguistiques. Avec l'âge, elles intègrent les attributs qui sont contre-intuitifs (Quinn, 2011, p. 147). Tant et aussi longtemps que certaines règles fondamentales ne sont pas transgressées, le système perceptuel

[9] Le *taxum animatum* représente les différentes formes ou types de personnage qui figurent en animation. Le terme « animéidé », est le *taxum animatum* désignant le personnage cartoonesque et protoplasmique. Il a été créé en combinant l'adjectif « animé » et le mot « hominidé », qui désigne la famille de primates à laquelle les êtres humains appartiennent. Le « idé » vient du latin « idae » pour « famille biologique » (Antidote, 2022m).

ne semble pas contester la véracité de ce qui lui est présenté et ce, que nous visionnions une œuvre de fiction ou une scène réelle. Si les médias rapportaient, par exemple, qu'un groupe de créatures capables de se téléporter et de se métamorphoser avait été découvert en Amazonie, nous serions naturellement incrédules. Il suffirait toutefois de voir ces créatures manifester ces pouvoirs extraordinaires de nos propres yeux pour y croire. Il est encore plus facile d'accepter la véracité d'un phénomène inusité lorsqu'il survient dans une œuvre de fiction. Il arrive même que des catégories taxonomiques fictives soient créées par certains genres artistiques (p. ex. fantaisie, horreur, science-fiction, bande dessinée de superhéros, etc.). Par conséquent, les vampires, les loups-garous et les fantômes sont trois classes de créatures fantastiques distinctes dont les habiletés et les vulnérabilités sont bien connues. Même si ces créatures n'existent que dans notre imaginaire, nous ne remettons pas leur existence en doute lorsque nous sommes plongés dans une œuvre de fiction. Cette idée rejoint le concept de la suspension temporaire et volontaire d'incrédulité (*willing suspension of disbelief*, en anglais) qui propose que nous devons mettre notre sens critique ou notre incrédulité de côté pour être en mesure d'accepter la véracité de phénomènes narratifs invraisemblables (Bobée, 2012, p. 1). Nous reviendrons à cette hypothèse connue au sein du chapitre prochain lorsqu'il sera question de la crédibilité des mondes animés et démontrerons qu'elle est fausse, car d'après Richard Gerrig (1993) : « All information is understood as true until some is unaccepted » (p. 240).

Nos propres expériences en tant qu'animateur démontrent que la contrainte des articulations s'applique autant aux personnages animés qu'aux personnages réels, mais elle est potentiellement moins rigoureuse, plus la forme est stylisée ou abstraite. La contrainte peut aussi être ignorée lorsque les articulations du personnage ne sont pas bien définies. C'est le cas notamment des animéidés qui possèdent souvent des corps filiformes. Ce style, appelé *rubber-hose animation* en anglais et développé en partie par l'animateur Bill Nolan, se caractérise par des formes courbées qui bougent de manière relâchée et caoutchouteuse (Furniss, 2016, p. 48). Les déformations et les bris potentiels de la contrainte des articulations sont ainsi permis par les formes filiformes et fluides des premiers *cartoons* et les mouvements rapides d'une animation, mais qu'arrive-t-il quand la forme animée est plus réaliste ? De surcroît, qu'en est-il de la contrainte de la solidité ? Puisqu'un animateur veut éviter de produire un mouvement qui risque de briser l'authenticité de l'illusion visuelle, il convient de se demander quelle contrainte est plus importante pour le système perceptuel : la contrainte des articulations ou celle de la solidité ? En d'autres mots, avons-nous plus de chance de remarquer le passage du corps à travers un objet solide ou le fait qu'un geste aurait cassé un os ou disloqué un joint ? Bien que nous n'ayons pas eu la chance de tester notre hypothèse

expérimentalement, nous croyons qu'il est beaucoup plus important de respecter la contrainte de la solidité, car elle est une propriété intrinsèque de la matière (voir chap. 4). En tant qu'animateur, nous avons souvent brisé la contrainte des articulations en déformant un corps animé au-delà du domaine du possible, sans que cela cause de problème. Nous n'avons toutefois jamais enfreint volontairement la contrainte de la solidité. Nous ne sommes pas les seuls à négliger la contrainte des articulations. À plusieurs moments dans *The Animator's Survival Kit* (2001), Richard Williams recommande de briser la contrainte des articulations pour augmenter la fluidité du mouvement. Il conseille, par exemple, de plier le coude dans le mauvais sens, alors que le bras balance vers l'avant dans un cycle de marche (p. 151). Le fait que cette action, illustrée à la figure 6.10, casserait le coude du personnage n'est pas problématique. Il semble que la fluidité du mouvement masque complètement le bris de la contrainte des articulations qui n'est pas perçu. En revanche, le non-respect de la solidité semble être beaucoup moins toléré par le système visuel. En animant un personnage en 3D, l'animatrice professionnelle sait qu'elle doit faire attention d'éviter qu'une partie du corps passe à travers une autre (Jones, A. et Oliff, 2007, p. 217)).

Figure 6.10 : Bris de la contrainte des articulations

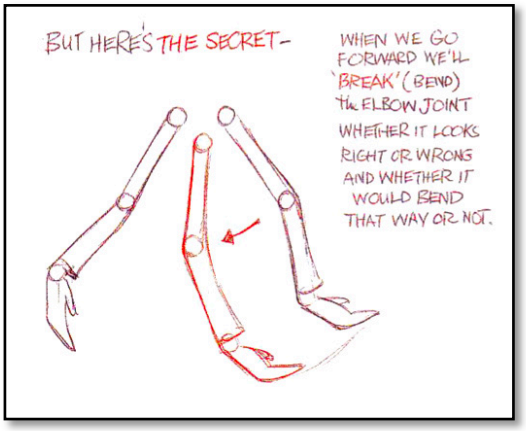


Image prise de Williams, R. (2001, p.

Cette erreur, appelée la *penetration*, en anglais, souligne de manière flagrante le fait qu'un personnage de synthèse est un simulacre incorporel. Lorsqu'une animation est produite pour un film, les erreurs de ce type sont assez rares, car elles sont détectées et corrigées durant la production. Il faut toutefois apporter une attention particulière aux collisions et à la solidité dans un jeu vidéo, car les actions et situations dynamiques et parfois imprévisibles sont générées automatiquement en temps réel par un logiciel. Une autre erreur de ce type est le « foot slip ». Illustré dans la vidéo suivante : https://youtu.be/63cSThWDycQ, ce faux pas survient lorsque les pieds d'un personnage glissent au sol sans tenir compte de la friction[10]. Il est maintenant possible d'éviter ce type d'erreurs en programmant des contraintes de collisions[11] qui maintiendront l'illusion de la solidité en empêchant les morceaux

[10] Généralement, le foot slip se produit lorsque la vitesse d'une marche ou d'une course ne concorde pas avec la distance parcourue par le personnage. L'effet est que le pied ne reste pas planté au sol, mais glisse vers l'arrière comme si le personnage marchait sur une patinoire et que la friction avait soudainement cessé d'opérer. Nous reviendrons au foot slip au chapitre prochain, car, en plus d'être un des pires faux pas en animation, il est associé à un bris des lois fondamentales de la physique.

[11] Celles-ci s'appellent des *collisions constraints*, en anglais.

censés être solides de traverser d'autres substances tangibles. Jones, A. et Oliff (2007) notent qu'il est important d'employer un bon squelette ou *rig*, car cette armature virtuelle, qui joue le rôle numérique du *solid drawing* (principe d'animation n° 11) décrit au chapitre 1, maintient la cohérence et la solidité du personnage et empêche les pénétrations accidentelles (p. 92). Le *rig* et les contraintes préprogrammées peuvent également simuler le contact physique entre deux choses. Le logiciel est ainsi en mesure de représenter automatiquement la contraction de muscles, le froissement de tissus et le déplacement du sol, causé par les pas du personnage. Mise à part la nature unique de la forme animée, il est aussi possible que le système perceptuel soit plus tolérant à l'égard de la contrainte des articulations, car certains corps sont plus flexibles que d'autres et nous ne sommes pas des experts en anatomie. Puisque les bris subtils de la contrainte des articulations passent inaperçus, c'est donc à l'animateur d'animer ses personnages en tenant compte, ou en faisant fi, de la contrainte pour produire un mouvement qui possède le degré de réalisme ou d'expressivité cartoonesque désiré. Cela dit, bien que les corps soient flexibles, ils ne sont pas intangibles. Par conséquent, à moins d'animer un fantôme incorporel ou un superhéros intangible (p. ex. Vision des Avengers), la matière doit sembler solide pour être crédible. Finalement, il ne faut pas oublier que la loi du parcours le plus court l'emporte sur toutes les autres règles à des vitesses rapides.

La facilité avec laquelle l'animation brouille les catégories taxonomiques peut également être attribuée à d'autres facteurs, dont notre habileté à pouvoir conceptualiser le même objet de plusieurs façons différentes. Les enfants de trois ans et moins n'ont pas cette capacité qui est appelée *dual encoding* (Flavell *et al.*, 1986, p. 57; Shaffer *et al.*, 2005, p. 237). Dans une expérience bien connue menée par Rheta de Vries (1969), des enfants entre l'âge de trois et six ans sont exposés à un chat appelé Maynard. Après que l'enfant ait eu la chance de le caresser, la tête du félin est dissimulée par les chercheurs qui y attachent un masque. Lorsqu'un Maynard masqué réapparaît, les enfants de 3 ans croient qu'il s'est transformé en chien alors que les enfants de 6 ans réalisent que Maynard est toujours un chat même s'il ressemble à un chien (Shaffer *et al.*, 2005, p. 237). La réalisation que les apparences sont parfois trompeuses et peuvent dissimuler la vraie nature d'une chose est une habileté qui s'appelle le *appearance/reality distinction* (Flavell, 1986, p. 418) et, comme le *dual encoding*, elle se développe avec l'âge. Il est aussi logique que la capacité de différencier le réel de la fiction contribue au fait que nous ne remettons pas l'existence de créatures fantastiques en cause dans une œuvre de fiction. Nous reviendrons à ce concept important, appelé *framing* (Anderson, J. D., 1998, p. 113), au chapitre prochain lorsque nous traiterons de la crédibilité des lois de la physique qui régissent un monde fictionnel. Maintenant que nous avons défendu l'hypothèse de la forme animée (*taxum animatum*) comme catégorie unique jouissant d'une certaine

liberté perceptuelle, il est pertinent de différencier l'animisme et l'anthropomorphisme, car ces termes sont employés dans les écrits en études animées pour décrire comment la sentience se manifeste dans un personnage animé.

6.6 La psychologie de l'animé : panpsychisme, animisme et anthropomorphisme

Nous avons vu au chapitre 1 que la théorie du panpsychisme propose que toute chose dans l'univers possède un esprit ou un certain degré de conscience (Skrbina, 2017, p. 2). Si la conscience est vraiment une propriété fondamentale de la matière, l'animateur devient une sorte de chaman ou magicien qui, tel Mickey Mouse dans *The Sorcerer's Apprentice*, réveille et contrôle l'âme qui est déjà à l'intérieur de toute matière inanimée. En concevant l'art d'animer comme un acte spirituel et chamanique, les théoriciens et animateurs associent l'animation à l'animisme plutôt que de parler de panpsychisme.

L'animisme, qui a la même racine étymologique que le mot « animation[12] », est la croyance que chaque chose tangible (endroit, animal, plante et phénomène naturel) a une âme ou une conscience invisible grâce à laquelle elle peut communiquer (Harari, 2016, p. 54; Harris, 1995, p. 221). L'animisme est un des premiers concepts à être formulé en anthropologie par Sir Edward Burnett Taylor (1832-1917), le fondateur de l'anthropologie culturelle. Ce dernier invente le terme, qu'il décrit dans *Primitive Culture* (Tylor, 1920 [1871]), comme la première de trois phases dans l'évolution des religions. En dépit de cette histoire partagée, ou plutôt à cause de celle-ci, le concept de l'animisme n'est plus bien vu par plusieurs chercheurs en anthropologie pour un ensemble de raisons. D'abord, van Gennep (1903, p. 54) note que le concept est « à la fois trop précis et trop compréhensif », car les croyances spirituelles que l'animisme tente de circonscrire sont trop diverses et distinctes pour être décrites par un seul concept. Ceci mène à de nombreuses définitions ou interprétations parfois contradictoires de croyances animistes qui sont censées être universelles, mais ne le sont pas. L'animisme a aussi des connotations racistes et impérialistes, car le concept est employé par les premiers anthropologues d'origine européenne pour caricaturer les croyances dites primitives des peuples qu'ils étudient (Bird‐David, 1999; Roelofs, 2021, p. 124-125). Sergei Eisenstein (2017 [1986]), qui ne semble pas conscient de ces questions contentieuses,

[12] « Animisme » de *anima*, pour « âme » ou « esprit » en latin (voir chap. 1).

souligne que l'animation a des affinités visuelles et thématiques avec l'animisme et le totémisme[13]. Se basant sur *L'histoire poétique* de Veselovsky (1940), il fait écho à l'effet anthropomorphique du mouvement vivant (Heider et Simmel, 1944; J. Pratt et autres, 2010) lorsqu'il observe que :

> We involuntarily transfer onto nature our experience of life, which is expressed in movement, in the manifestation of a force directed by a will; in phenomena or objects in which movement was detected, there were suspected at one time or another signs of energy, will, life. This view of the world, we call animistic. (Eisenstein, p. 95)

Il n'est pas suffisant qu'un personnage dans un film animé soit perçu comme étant vivant. Il doit aussi nous ressembler physiquement et psychologiquement pour que nous puissions nous y identifier. En termes visuels, l'entité animée doit donc posséder des yeux et un visage et se déplacer de manière imprévisible et indépendante (voir tableau 6.1). Au niveau psychologique, elle doit manifester des émotions qui émulent les nôtres. En somme, un personnage animé, qu'il ait la forme d'une roche, d'un lapin ou d'un martien, doit être à notre image. Plutôt que d'être apparentée à l'animisme, qui est un terme désuet et imprécis, l'illusion de l'animation repose ainsi sur l'anthropomorphisme[14], qui est la propension que nous avons à attribuer des intentions et des émotions humaines à des choses ou à des « agents[15] » qui ne sont pas humains (p. ex. autres espèces animales, les forces de la nature, les divinités religieuses, les machines, etc.) (Epley *et al.*, 2007, p. 264-265). L'attribution d'anthropomorphisme semble être un réflexe psychologique quasi inné, car aussitôt que nous catégorisons une chose comme étant animée, nous cherchons à lui donner des attributs humains. Le philosophe, scientifique et poète grec Xénophane (570– 475 AEC) est le premier auteur à décrire le phénomène lorsqu'il observe que les dieux sont à l'image de leurs adeptes. Par conséquent, les dieux des Éthiopiens ont la peau foncée alors que les dieux des Thraciens ont les yeux bleus et les cheveux roux (Lesher, 1992). Plus de 1000 ans après Xénophane, le philosophe écossais du siècle des Lumières, David Hume (1771-1776), postule que

[13] Dans le résumé de l'article « Le totémisme en Afrique noire », Adler (1998) définit une première forme de totémisme ainsi : « un système de croyances et de pratiques rituelles étroitement associé au culte des ancêtres dans des sociétés segmentaires dépourvues d'institutions politiques centralisées ». L'auteur remarque également que Claude Lévi-Strauss (1962, 2002 [1962]), qui traite du sujet dans deux ouvrages, considère que le totémisme est un concept qui est parfois contradictoire (Adler, 1998, p. 13-14).

[14] Le mot « anthropomorphisme » vient du grec *anthrōpos* (humain) et *morphē* (forme) (Epley *et al.*, 2007, p. 265).

[15] Dans un souci à la fois de simplicité et d'exactitude, nous utilisons le mot « agent », car il désigne, dans les écrits en anglais, quelqu'un ou quelque chose possédant de l'*agency* (agentivité), qui est l'habilité d'initier et de diriger des actions (Antidote, 2022b).

l'anthropomorphisme est une pulsion universelle chez l'humain qui est à l'origine des religions. Il observe ainsi dans *The Natural History of Religion* (Hume, 2008 [1793]) que :

> There is an universal tendency among mankind to conceive all beings like themselves, and to transfer to every object, those qualities, with which they are familiarly acquainted, and of which they are intimately conscious. We find human faces in the moon, armies in the clouds; and by a natural propensity, if not corrected by experience and reflection, ascribe malice or good-will to every thing, that hurts or pleases us. (p. 141)

L'anthropomorphisme est inextricablement lié à l'animation dès le début du médium. Dans *The Haunted Hotel*, par exemple, un film en PVR qui incorpore des scènes en pixilation, des objets hantés par des esprits bougent de leur propre gré. Cinquante ans plus tard, McLaren et Jutra réalisent *Il était une chaise* (1957), un film qui illustre les échanges entre un homme et une chaise. Mais ce ne sont pas que les objets qui prennent vie en animation. L'anthropomorphisme se manifeste aussi chaque fois qu'un personnage est un animal. Cette pratique est si courante et est si intimement associée au médium que nous la tenons pour acquise (Wells, 2008, p. 2). Les films d'animation de Winsor McCay mettent en scène des animaux anthropomorphiques. Comme son nom l'indique, la vedette de *Gertie the Dinosaur* (McCay, 1914) est une brontosaure qui se comporte comme une enfant et *How a Mosquito Operates* (1912) suit un moustique qui ressemble à un vendeur de porte-à-porte. Et avant l'ascension à la célébrité de Mickey (une souris), Félix, un chat, est le personnage de fiction le plus connu au monde[16]. Finalement, il est difficile de parler d'anthropomorphisme sans parler des films de Disney qui s'inspirent en grande partie de la vision idéaliste d'une nature bucolique. À quelques exceptions, dont *The Skeleton Dance* (Disney, 1929), la plupart des courts-métrages de la série Silly Symphony mettent en scène des animaux anthropomorphiques. Ces derniers jouent également des rôles importants dans les longs-métrages de Disney. L'exemple le plus notoire est *Bambi* (Hand, 1942). Bien que Bambi soit de toute apparence un cerf de Virginie, son histoire est vraiment celle d'un garçon humain qui passe à l'âge adulte. Des périples de Félix le Chat, qui débutent en 1919 dans *Feline Follies* (Messmer), au quatrième film de la série *Toy Story* (Cooley, 2019), la tradition de donner vie à des objets inanimés se poursuit en animation jusqu'à ce jour. Il est intéressant de noter que la nature anthropomorphique d'un personnage animé est souvent reflétée dans son nom. D'après cette convention, le prénom d'un *cartoon* renforce la dimension humaine du personnage, alors que son nom de famille identifie son taxon (animal ou type d'objet). « Mickey » (prénom) est donc un « *mouse* »

[16] Dans les années 1920, les studios d'animation cessent de produire des films mettant en vedette des personnages humains, qui sont originaires des *comic strips* et se tournent vers des personnages créés exclusivement pour l'animation. La plupart de ces derniers sont des animaux (Crafton, 1993, p. 10).

(nom de famille) ; Félix, un chat ; Thomas, un train ; Bugs, un *bunny* (lapin), etc.. Bien que la convention d'appellation provienne probablement de l'attrait sonore des allitérations qu'elle produit, elle facilite également l'identification de l'animal que le personnage animé est censé incarner. Lors d'un entretien (Hall, 2005 [1968]), l'animateur et réalisateur Chuck Jones (1912-2002), qui a participé à la création de nombreux personnages animés, dont Bugs Bunny, constate que ce type de personnage ne ressemble même pas à l'espèce qu'il incarne, car il est une abstraction visuelle, une caricature. Bugs Bunny, par exemple, ne ressemble pas à un lapin, mais est plutôt un homme qui porte un costume de lapin (p. 15). Cette remarque est à la fois amusante et pénétrante, car elle révèle la vraie nature de l'esprit qui habite et meut les objets et personnages en animation. Ces derniers ne représentent pas nécessairement l'objet ou l'animal qu'ils incarnent. Leur apparence n'est qu'un masque ou une illusion qui cache le fait qu'ils ont été créés à notre image pour refléter notre nature à travers le filtre de l'anthropomorphisme. Comment expliquer l'origine psychologique de ce phénomène étrange ? Il est logique de concevoir la distinction animé-inanimé comme étant un mécanisme évolutif, car une entité imprévisible en mouvement représente un danger à notre survie, mais quel est l'avantage ou la fonction de projeter ses propres émotions et intentions dans un cerf de virginie (Bambi), un train (Thomas) ou un jouet (Woody ou Pinocchio) ?

6.6.1 Explications de l'anthropomorphisme

Un groupe de chercheurs mené par Nicholas Epley croit que trois facteurs peuvent expliquer la fonction évolutive de l'anthropomorphisme (Epley *et al.*, 2008; Epley *et al.*, 2007; Waytz *et al.*, 2010). : 1) la motivation sociale, 2) la théorie du *effactance motivation* de Robert White (1959), et 3) le *elicited agent knowledge*(p. 878). La motivation sociale est notre désir de créer des liens sociaux et de sentir que nous appartenons à un groupe (Epley *et al.*, 2008, p. 146; Eyssel et Kuchenbrandt, 2011, p. 467). En anthropomorphisant les objets et animaux qui nous entourent, nous créons des connexions sociales avec ces derniers et nous nous sentons moins seuls. Il est ainsi plus probable qu'une personne atteinte de solitude chronique anthropomorphise ses animaux de compagnie, car ceci lui permet de créer des agents de soutien social et d'alléger son isolement (Epley *et al.*, 2008, p. 148). Le deuxième facteur influençant l'anthropomorphisme est la théorie du *effactance motivation* de Robert White. Dans « Motivation reconsidered: the concept of competence », White (1959) propose que les êtres humains cherchent à comprendre, à prédire et à contrôler leur environnement de manière efficace. Nous sommes cependant exposés à une variété de phénomènes complexes qui dépassent notre entendement. Plutôt que d'accepter qu'un phénomène soit inexplicable, le e*ffactance motivation* nous pousse à trouver une

explication que nous sommes en mesure de comprendre (Epley *et al.*, 2008; Epley *et al.*, 2007). Évidemment, nous pourrions nous référer à un manuel savant ou consulter un expert pour chercher une explication scientifique. Cette stratégie n'est toutefois pas pratique, car le système perceptivo-moteur doit opérer dans l'immédiat pour des raisons de survie et l'explication savante, qui n'est pas toujours intelligible pour le néophyte et requiert trop de temps et d'énergie à obtenir. Puisque la solution la plus rapide, simple et satisfaisante est tirée de notre propre savoir expérientiel, nous expliquons les phénomènes en utilisant nos propres émotions et intérêts. Il importe peu que ces explications égocentriques et homocentriques soient imprécises et parfois erronées, car le langage des émotions est simple et elles nous permettent d'appréhender et d'interagir rapidement avec tous les phénomènes que nous rencontrons (Epley, 2015, p. 74-75). Dès lors, plutôt que d'expliquer les phénomènes météorologiques par les lois de la thermodynamique et le mouvement apparent par des principes de la psychophysique, nous expliquons ces phénomènes extrêmement complexes par des analogies et métaphores simples. Considéré comme le troisième volet de l'anthropomorphisme, Epley *et al.* (2007) nomment ce type de savoir le *elicited agent knowledge*, en anglais (p. 878). Nous nous servons de nos propres expériences émotionnelles et cognitives dès un jeune âge pour interpréter les actions d'autrui. Meltzoff (2007) résume ce concept succinctement en le nommant la stratégie du « comme moi » (*like me*). Bien que cette appellation suggère un certain égocentrisme unidirectionnel, Meltzoff soutient que cette approche cognitive mène à des apprentissages bidirectionnels qui peuvent bénéficier à l'individu et au groupe. L'enfant peut ainsi comprendre les actions des autres en les comparant à ses propres expériences et, en retour, le fait de comprendre les autres l'aide à se connaître lui-même (p. 27).

Puisque l'attribution de vie et d'intentions humaines est l'état ou l'explication que nous attribuons par défaut à tout phénomène, Carporael *et al.* la décrivent comme étant le *cognitive default story* (Caporael, Linnda R., 1986; Caporael, Linnda R et Heyes, 1997). Cette hypothèse est corroborée par le pionnier de la psychologie du développement Jean Piaget (1896-1980) qui postule que les enfants croient, par défaut, que toutes les choses sont vivantes. Ce n'est qu'avec l'âge et l'expérience que la matière inerte et inanimée est détachée du continuum de la vie (Piaget, 2013 [1929])[17]. L'animisme des enfants est beaucoup moins formel que l'animisme supposément universel des premiers anthropologues. Il est remplacé à partir de l'adolescence par le « naturalisme », qui est la croyance que les phénomènes naturels (p. ex. les nuages, les montagnes, les rivières, etc.) sont inanimés et résultent soit de procédés naturels

[17] Intitulée « L'animisme enfantin », la deuxième section de *La représentation du monde chez l'enfant* (Piaget, 2013 [1929], pp. 143-211), traite de ce sujet.

ou ont été créés par un dieu distinct de l'humain (Guthrie, 1995, p. 40). Mais notre connexion avec le monde animiste de l'enfant n'est pas perdue. Les films d'animation, et les œuvres de fiction de manière générale, nous permettent de replonger dans l'univers de la métaphore anthropomorphique, car chaque chose contient une âme endormie qui peut être réveillée et chaque personnage animé est une réflexion de la nature humaine, peu importe sa forme. Mais est-ce que certaines formes activent notre pulsion anthropomorphique plus que d'autres ?

6.6.2 La rondeur et simplicité universelle de la forme animée

Le principe d'animation *arcs* (n° 7) stipule que les mouvements vivants doivent suivre des trajectoires arquées, car la structure physiologique des êtres vivants produit des mouvements courbés (Thomas et Johnston, 1981, p. 62-63). Comme nous l'avons démontré à la section 6.3, ce conseil est corroboré par les études sur le mouvement biologique qui démontrent que 1) la structure anatomique de nos corps produit des mouvements courbés, 2) que nous sommes hyper sensibles à détecter ce type de mouvement dans notre environnement et que 3) nous tirons le maximum d'informations de ces derniers. Mais qu'en est-il des formes qui composent un être vivant ? Sont-elles aussi courbées que les mouvements qu'elles produisent ? De plus, puisque les personnages animés les plus célèbres sont constitués de cercles et de lignes courbées (p. ex. Mickey Mouse, Bugs Bunny et Homer Simpson), pouvons-nous présumer que la forme animée doit être « naturellement » courbée pour être vivante ? Ces questions rappellent une déclaration de l'architecte français, Jacques Couëlle (1902-1996) qui, cité par Luigi (1982, p. 31), proclame :

> Il n'y a pas d'angle droit dans la nature. L'inscription de n'importe quel geste d'un homme est dans l'air. Décomposez-le cinématographiquement : c'est une courbe. La ligne droite n'existe rigoureusement pas dans le comportement de l'homme, donc pas d'angle droit[18]. (Luigi, 1982, p. 31)

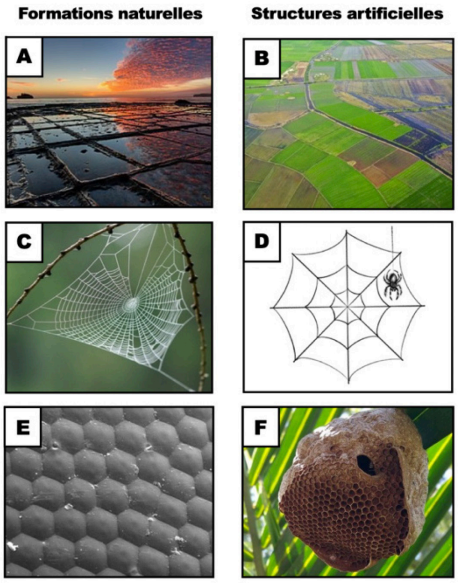
La croyance que les formes naturelles sont rondes et que les structures artificielles sont rectilignes se manifeste dans d'autres formes artistiques. En dessin, Kimon Nicolaides (1941) recommande à l'artiste dans *The Natural Way to Draw* de débuter une œuvre en produisant un dessin gestuel, car les lignes continuelles et courbées produites par cette technique rapide et instinctuelle sont en mesure de capter le mouvement et l'émotion d'une pose (deux caractéristiques de l'entité animée). En fiction, un des

[18] En dépit de la ferveur de cette déclaration, les sculptures habitables de Couëlle, qui s'inspire en partie d'une architecture-sculpture organique (Luigi, 1982, p. 24), ne sont pas totalement sans angle, car l'architecte français évite d'être limité par une théorie ou un système (p. 31). D'autres architectes, par contre, suivent cette maxime à la lettre et créent des maisons totalement courbées, sans angles. L'architecte hongrois Antti Lovag (1920-2014), par exemple, construit des maisons bulles que certains critiques comparent aux habitations des Schtroumpfs (Deraspe et Gauthier, 2005).

personnages du film *Prometheus* (Scott, 2012) affirme que Dieu ne construit pas en lignes droites. Si ces conseils et déclarations sont vrais, devons-nous limiter l'emploi d'angles droits aux structures architecturales, aux véhicules et à tout ce que nous fabriquons et représenter les formes naturelles et vivantes à l'aide de lignes courbées ? Pour élucider ces questions, il faut d'abord tester l'hypothèse selon laquelle la nature s'exprime en courbes.

Un survol des écrits révèle que les lignes et les angles droits sont effectivement très rares dans la nature. Le pavement en mosaïque (fig. 6.11A) est une formation géologique rare trouvée en Tasmanie (Leaman, 1999) qui ressemble à des champs cultivés ou à une rizière 6.11 B. Bien que la toile d'araignée soit souvent dessinée comme étant composée de lignes droites (fig. 6.11D), la gravité fait en sorte que les lignes sont plutôt courbées (fig. 6.11C) dans la nature. Le meilleur exemple d'une structure naturelle composée de formes rectilignes est l'œil de l'abeille (fig. 6.11E). Cette structure est reflétée dans la structure des alvéoles d'une ruche, mais les lignes ne sont pas toujours droites (fig. 6.11F). Étant donné que ces instances rarissimes semblent être les exceptions qui confirment la règle, et que les lignes droites ne sont pas présentes dans la nature, faut-il éviter de les employer dans le design d'un personnage vivant et animé ? Au premier regard, il semble que la réponse tend vers l'affirmative, car les corps des personnages animés les plus connus (p. ex. Mickey Mouse et Homer Simpson) sont formés principalement de cercles et non de lignes droites. Il faut toutefois se demander si cette structure plutôt sphérique résulte du caractère naturel et vivant des courbes ou est causée par d'autres facteurs. Le principe du *solid drawing* (n° 11) encourage l'emploi de formes qui sont « plastiques » et « animables », mais Thomas et Johnson (1981, p. 67-68) ne précisent pas qu'elles doivent être rondes. En fait, ces derniers encouragent l'utilisation de formes courbées et droites, car cette combinaison crée une asymétrie qui est fluide et dynamique (p. 67-68). Une fleur carnivore peut ainsi être constituée de lignes droites pour accentuer son caractère menaçant et le visage d'un robot

Figure 6.11 : Structures naturelles et rectilignes



Références des images : A. Pavement en mosaïque (Harrison, 2009) ; B. Rizière (Cuong_Art, 2021); C. Toile d'araignée (Rottonara, 2019), D. Dessin stylisé d'une toile d'araignée (réalisé par l'auteur) ; E. Œil d'une abeille (Knibbe, 2022) ; F Ruche d'abeille (Plett, 2017).

enfantin, tel Astro, peut être rond, même si la machinerie est généralement angulaire. L'artiste et auteur Michael Mattesi (2006) décrit le rôle et la complémentarité des deux sortes de lignes ainsi : « The curve is the energy that moves through the shape, and the straight line helps direct its path and give it structure » (p. 106). S'il faut combiner les deux types de lignes, comment se fait-il qu'un bon nombre de personnages cartoonesques animés soient circulaires [19] ? Nous avons noté dans la section sur le mouvement biologique que le style *rubber-hose* des premiers dessins animés produit des corps ronds et filiformes. En plus d'accentuer la fluidité des mouvements, Barrier (2003) suggère que ces courbes augmentent la productivité des animateurs, car celles-ci se redessinent plus facilement (p. 19). En travaillant en animation, nous avons nous-mêmes constaté la tendance de la ligne animée à s'arquer, plus elle est reproduite. Par exemple, en débutant la production de notre film *Chasse papillon*, le design initial de notre personnage principal était très angulaire, mais ses traits s'adoucirent et se courbèrent, plus nous le redessinions. L'expérience nous a appris, comme le suggère Barrier, qu'il est tout simplement plus facile d'animer des formes courbées que des blocs angulaires. La rondeur des personnages animés s'explique ainsi par un ensemble de facteurs à la fois pratiques et psychologiques. Bien que nous ayons insisté sur leur rondeur, nous croyons que la caractéristique principale des personnages populaires en animation n'est pas nécessairement leur rondeur, mais plutôt leur simplicité, que l'auteur et bédéiste américain Scott McCloud qualifie de symbolique.

Scott McCloud (1994) postule dans *Understanding Comics* qu'il est plus facile de s'identifier à un personnage simple en bande dessinée (p. ex. Astro, Charlie Brown, Bone, etc.) qu'à une figure qui est plus réaliste (p. ex. Corto Maltese [Hugo Pratt], les personnages de *Sin City* [Frank Miller], ou *Lone Wolf and Cub* [Goseki Kojima], etc.), car la simplicité le transforme en icône ou symbole universel (p. 22-59). Selon nous, cette théorie peut s'appliquer au cinéma d'animation autant qu'à la bande dessinée, car nous croyons qu'il est plus facile pour un observateur d'interpréter les informations cinétiques lorsque la forme est épurée. De plus, il est notable que la plupart des personnages identifiés comme étant symboliques par McCloud proviennent du monde de l'animation ou du moins aient été adaptés de la bande dessinée à l'écran. Son hypothèse de l'universalité de la simplicité formelle peut expliquer l'attrait d'animations simples et épurées, dont celles de la série italienne *La Linea* (Cavandoli, 1971-1986), les personnages de *South Park* ainsi que la clarté expressive des animations de McLaren. Il faut finalement noter que le fait

[19] Il serait non seulement faux, mais absurde de déclarer que les personnages animés cartoonesques sont complètement dépourvus de lignes angulaires, car ils ne le sont pas. Puisqu'elles supportent le poids du corps, les jambes (ainsi que les bras), par exemple, sont souvent plus angulaires que le reste du corps. Nous suggérons tout simplement que la sphère, le cercle, l'ovale sont les formes dominantes dans une animation traditionnelle. Certains styles graphiques sont aussi plus angulaires, comme celui employé dans *Aeon Flux* (Chung, 1991-1995).

que l'animation crée des personnages que McCloud qualifie de symboliques n'est probablement pas un effort conscient de la part des premiers animateurs à vouloir créer des personnages universels, mais résulte plutôt d'un processus naturel d'épuration qui favorise la rondeur et la simplicité, car elles s'animent beaucoup plus facilement que des formes angulaires et complexes. Donc, en plus de courber les lignes d'un personnage animé, le design de ce dernier a aussi tendance à se simplifier avec le temps. Maintenant que nous avons décrit le lien entre le processus de catégorisation et la forme animée, il est pertinent de décrire comment d'autres repères formels influencent la distinction animé-inanimé.

6.6.3 L'anthropomorphisme de notre réflexion : le visage et les yeux

> It is the ability to turn, to move, to focus attention, to interact, to follow your movement with its own eyes that makes the inanimate become animate and, in turn, makes the living become mindful. (Epley, 2015, p. 69)

Comme nous venons de décrire, nous nous servons de nos propres expériences émotionnelles et cognitives dès un jeune âge pour interpréter les actions d'autrui (Meltzoff, 2007). Nous les utilisons également pour expliquer les phénomènes inexplicables que nous observons, car le langage des émotions est simple et nous permet d'appréhender une situation rapidement et d'agir en conséquence (Epley, 2015, p. 74). D'après la stratégie du « comme moi » (Meltzoff, 2007), ce sont nos propres intentions et émotions qui nous servent de référents. Par conséquent, les choses qui ont les mêmes caractéristiques cinétiques et morphologiques que nous activent automatiquement une impression d'anthropomorphisme (Eddy *et al.*, 1993; Guthrie, 1995; Morewedge *et al.*, 2007). De tous les repères formels, c'est la présence d'un visage et plus particulièrement le fait de posséder des yeux qui déclenche presque automatiquement une impression que la chose perçue est dotée d'intentions humaines (Looser et Wheatley, 2010; Opfer et Gelman, 2011, p. 16-17). Par conséquent, nous sommes extrêmement sensibles aux visages, à leurs expressions et aux yeux en particulier, car nous possédons ces mêmes attributs et ces derniers représentent une source importante, accessible et expressive d'informations sociales[20]. Notre capacité à reconnaître les visages est ainsi d'une importance capitale pour les membres de notre espèce (Sacks, 2010, p. 90). Bien qu'une région spécialisée du cerveau[21] gère la reconnaissance faciale, cette habilité est répartie à travers tout l'hémisphère droit (McGilchrist, 2019, p. 60). Puisque ce dernier traite les

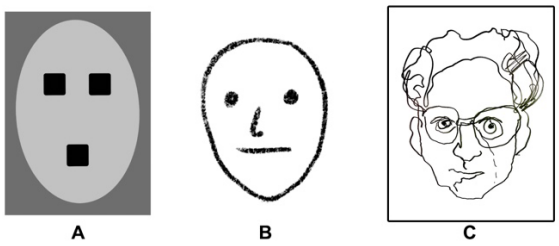
[20] Bien qu'un nombre important de recherches portant sur les émotions portent sur le rôle du langage corporel et des expressions faciales, Epley (2015) cite un ensemble d'études qui démontrent que la voix est une meilleure source d'informations émotionnelles que le corps. Il résume l'essence de cette découverte par la phrase suivante : « Body language, speaks, but only in whispers » (Epley, 2015, p. 163).

[21] Le gyrus fusiforme de l'hémisphère droit est responsable de la reconnaissance faciale.

informations de manière holistique (voir chap. 2), le processus est lui aussi holistique. Par conséquent, si nous sommes en santé[22], au lieu de reconnaître quelqu'un après avoir combiné ou additionné ses différents traits, nous l'identifions à partir d'une analyse globale (Wolfe *et al.*, 2019, p. 125-126).

Puisque des yeux et un visage signalent la présence d'une entité vivante et anthropomorphique, nous sommes extrêmement sensibles à toute configuration dans le champ visuel qui pourrait indiquer la présence potentielle d'un visage. Il est ainsi possible de voir un visage dans les représentations schématiques qui ne font que suggérer la présence d'une bouche et de deux yeux (images 6.12A et 6.12B). Il est important de noter que les esquisses stylisées de visages (fig. 6.12C) ne semblent pas être traitées de manière holistique par l'hémisphère droit (Sagiv et Bentin, 2001, p. 948). Le fait que le système perceptuel traite certains styles graphiques différemment des images réelles soutient le postulat selon lequel il existe un *taxum animatum*.

Figure 6.12 : Visages schématiques



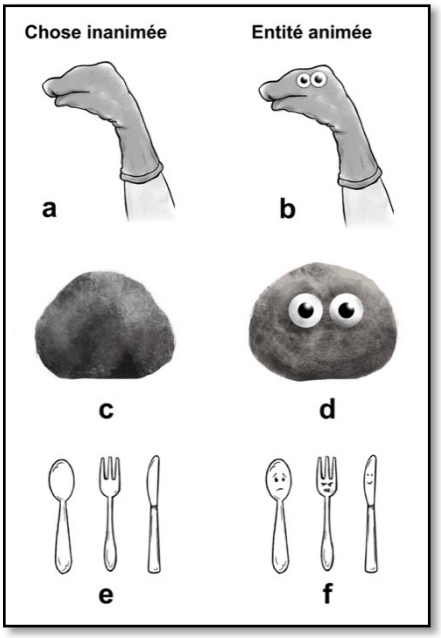
La figure 6.12A est basée sur celle employée par Tomalski *et al.* (2009, p. 574) dans leur expérience. La fig. 6.12B est une reproduction faite par l'auteur de Sagiv et Bentin (2001, p. 948). La figure 6.12C est une interprétation stylistique réalisée par l'auteur qui s'est inspiré du type d'esquisses décrites et illustrées par Sagiv et Bentin (2001).

Une autre conséquence de notre hypersensibilité aux êtres animés, aux visages et aux yeux est le fait que nous avons tendance à les voir dans les formes et les choses autour de nous. Ce phénomène est appelé la paréidolie (Palmer, C. J. et Clifford, 2020). Les formes que nous voyons le plus souvent dans les choses inanimées sont les visages, les formes humaines et les animaux (Pry, 2021). Lorsque ce sont des visages qui sont perçus, il s'agit d'une paréidolie faciale (*face pareidolia*). Nous voyons ainsi le visage d'un homme dans la lune (Goodale et Milner, 2013, p. 82-83) et le devant d'une voiture a l'apparence d'un visage humain qui peut être fâché ou souriant (Landwehr *et al.*, 2011). Ceci est particulièrement bien exploité dans *Cars* (Lasseter, 2006), où la configuration de l'avant de véhicules automobiles forme le visage de personnages. Le fait que les singes rhésus éprouvent la paréidolie faciale (Taubert *et al.*, 2018; Taubert *et al.*, 2017) indique, d'après Palmer, C. J. et Clifford (2020, p. 1001-1002), que le phénomène n'est pas un

[22] La prosopagnosie (*face blindness*) décrite au chapitre 2 peut se manifester lorsque l'hémisphère droit est endommagé. Une personne atteinte de cette forme d'agnosie est incapable de reconnaître un individu par son visage. Elle ne peut même pas reconnaître sa réflexion dans le miroir (Assal, 2001, p. 527-528; Pallis, 1955, p. 219). La reconnaissance faciale est une habileté qui varie d'un individu à l'autre. À l'autre extrême de la prosopagnosie, il y a des *super-recognizers* qui, comme leur nom indique, sont des individus qui ont une habileté exceptionnelle à reconnaître les visages (Russell, R. *et al.*, 2009).

produit culturel, mais est causé par des mécanismes évolutifs associés aux primates. En fait, toute configuration visuelle qui ressemble à un visage (p. ex. symbole, légume, fleur, insecte, etc.) crée une impression faciale qui attire notre attention (Sagiv et Bentin, 2001; Tomalski *et al.*, 2009) et active des procédés cognitifs associés aux rapports sociaux (Palmer, C. J. et Clifford, 2020, p. 1010). Évidemment, puisque la paréidolie faciale décrit la perception illusoire de visages inexistants, elle ne peut pas expliquer la reconnaissance faciale en animation, car les visages des personnages animés ressemblent vraiment à des visages humains. Ils ont même été créés pour être aussi anthropomorphiques que possible. Cela dit, la paréidolie faciale ainsi que notre hypersensibilité à la présence de visages et d'entités « animées » dans le champ visuel peuvent expliquer la divergence de styles artistiques dans les arts et en animation.

Figure 6.13 : Le pouvoir des yeux



Images dessinées par l'auteur.

Il est absolument étonnant à quel point les yeux produisent un effet anthropomorphique automatique et irrévocable. Comme le démontrent les exemples représentés à la figure 6.13, le phénomène est si puissant qu'il suffit d'ajouter des yeux à un objet pour que ce dernier se transforme instantanément en personne qui capte toute notre attention. Ce pouvoir peut être expliqué non seulement par la stratégie perceptuelle du « comme moi », mais aussi par le fait que les yeux, en plus d'être nos organes de vision, sont un outil important de communication sociale. Johnson, Susan *et al.* (1998) démontrent par exemple que des enfants de 12 mois suivront du regard un animal en peluche qui a des yeux même si ce dernier n'a pas interagi avec eux. Ceci indique qu'en termes de saillance anthropomorphique, la présence des yeux est plus importante que la sociabilité rétroactive de l'entité (caractéristique n° 4 du tableau 6.1). Tomasello *et al.* (2007) découvrent que nos cousins, les grands singes, suivent le mouvement de la tête, mais ne traquent pas le mouvement des yeux d'un expérimentateur, alors que les enfants humains ne suivent que ses yeux. Ceci suggère que notre capacité de suivre le regard des membres de notre espèce nous permet de communiquer et de coopérer avec ces derniers pour accomplir des tâches communes. Pour améliorer la fonction communicationnelle et sociale des yeux, l'œil humain a développé des particularités qui le rendent unique dans le monde animal. Nous sommes ainsi les seuls animaux et primates à avoir du blanc autour de notre pupille. Par ailleurs, cette zone, appelée la sclère (fig. 2.3), est

plus exposée que celle des autres primates. Ces changements morphologiques seraient survenus pour faciliter la communication entre les membres de notre espèce, après que nos ancêtres hominidés aient quitté les arbres pour devenir des prédateurs terrestres (Bickham, 2008, p. 27; Kobayashi et Kohshima, 2001).

Maintenant que les caractéristiques fondamentales de l'illusion de la vie ont été exposées, il est pertinent d'identifier les facteurs qui peuvent accentuer non seulement l'effet anthropomorphique, mais aussi la saillance perceptuelle d'une animation. Est-il possible par exemple de créer un personnage animé qui est plus encore « animé » ou expressif qu'un personnage réel ? Les auteurs de *The Illusion of Life* pensent que le médium animé a effectivement ce pouvoir. Comme nous l'avons mentionné au sein du chapitre 1, Thomas et Johnston (1981, p. 65-66) recommandent, par le biais de l'exagération (principe n° 10), d'amplifier et de dramatiser non seulement les mouvements, mais également la plupart des autres éléments d'une animation pour la rendre plus attrayante, intéressante et intelligible. Le fait que l'exagération soit un précepte central de l'animation soulève la question : à quel degré une animation doit-elle être réaliste pour fonctionner ? La question est capitale, car les animations employées dans les films en PVR doivent être réalistes, alors que les *cartoons* sont fondés sur une exagération ludique. La section suivante portera donc sur l'exagération de la forme animée qui, en plus d'être protoplasmique, est hyperréelle. Nous décrirons les phénomènes de la néoténie et de la vallée de l'étrangeté, car le premier rend un personnage plus attrayant alors que le second provoque un sentiment d'inconfort.

6.7 L'exagération hyperréelle de la forme animée

Tel que décrit au sein du chapitre 1, Maureen Furniss (1998) propose que tous les films, qu'ils soient animés ou tournés en PVR, puissent être placés sur un continuum qui va du réalisme (mimèsis) à l'abstraction (p. 5). Le choix d'employer le terme « mimétisme » plutôt que « réalisme » est important, car un film est une imitation perceptuelle de phénomènes réels. Mais l'animation et les arts font beaucoup plus qu'imiter la réalité, ils en éliminent les traits secondaires et amplifient ce qu'ils représentent de manière à créer des histoires, des personnages et des environnements qui sont plus que réels. Par conséquent, Paul Wells (1998, p. 24-28) et Ann Owen (2011) croient qu'il est pertinent de décrire l'animation comme étant hyperréelle[23]**.** Dans ce sens, les arts visuels qui sont décrits comme étant

[23] Paul Wells (1998, p. 24-28) emprunte le terme « hyperréel » et le concept de l'hyperréalité à Umberto Eco qui, dans un recueil d'essais intitulés *Travel in Hyperreality* (Eco, 2014 [1986]), propose que le rêve de Walt Disney est de créer un monde de fantaisie qui est plus réel que la réalité (p. 45).

réalistes ou photoréalistes devraient plutôt être qualifiés d'hyperréalistes, car une artiste ne tente pas de reproduire la réalité telle qu'elle est dans les faits. Elle tente plutôt d'être fidèle à l'essence[24] de son sujet, qui est plus vraie que nature. Identifier l'essence d'une chose et l'amplifier est au cœur de la caricature, un art et une approche artistique intimement liée à l'animation et au *cartoon*. En plus de faire un survol de l'histoire et des caractéristiques principales de la caricature, il est pertinent de décrire les deux phénomènes psychologiques sur lesquels l'exagération caricaturale et hyperréelle de la forme animée repose. Ces principes psychologiques apparentés sont : 1) *the caricature effect* et 2) les stimuli supranormaux.

6.7.1 La caricature, le *cartoon* et l'animation

> A good caricature, like every work of art, is more true to life than reality itself.
>
> Annibale Carracci (1560–1609)[25]

De l'art préhistorique (p. ex. la Vénus de Willendorf[26]) aux masques de la tragédie grecque (Rhodes, 1997, p. 21), l'artiste a su exagérer les caractéristiques physiques de ses œuvres pour en amplifier l'effet. Avant la Renaissance cependant, il n'est pas encore question de la « caricature » dans le sens moderne du terme, car ce sont des catégories générales plutôt que des individus qui sont exagérées. Selon McGilchrist (2019, p. 304), l'invention de la caricature ou la *caricatura*, c'est-à-dire l'exagération visuelle d'une personne connue, est attribuée à Annibale Carracci (1560–1609), un artiste originaire de Bologne, en Italie. Si l'artiste est conscient du pouvoir de l'exagération dès la préhistoire, comment se fait-il que la caricature de l'individu prenne aussi longtemps à se développer ? Gombrich et Kris (1940) pensent que la caricature est considérée comme un tabou durant l'Antiquité, car elle constitue une attaque à la dignité civique de l'individu (p. 6). Avant de voir le jour, il faut attendre la Renaissance, car ses idées humanistes permettent à l'artiste et à la société de réaliser que la caricature est un exploit artistique plutôt qu'un acte dangereux et odieux (p. 15). La lente diffusion de la liberté intellectuelle qui accompagne la Renaissance à travers l'Europe peut expliquer pourquoi la caricature demeure un art italien jusqu'à ce qu'elle soit introduite en

[24] Ramachandran utilise le concept hindi du *rasa* pour décrire ce que l'artiste réussit à capter dans une œuvre saillante. Bien que le terme n'ait pas d'équivalent en anglais, il le traduit par : « the very essence of » (Ramachandran et Hirstein, 1999, p. 16).

[25] La citation de Carruci est prise de McGilchrist (2019, p. 304) qui cite Godfrey (1984, p. 11).

[26] Cette petite figurine en pierre de 11 cm représente une femme corpulente, au visage caché, dont les attributs sexuels (seins et vagin) sont exagérés. Sculptée il y a environ 25 000 années avant le présent, elle est découverte en Autriche par Szombathy et Bayer près du village de Willendorf (Kohen, 1946, p. 49). D'autres statuettes de ce type ont été découvertes à travers l'Europe (Dixson, A. F. et Dixson, 2011).

Angleterre au XVIIIe siècle par William Hogarth (1697 – 1764). Ce dernier combine l'art italien avec la peinture hollandaise de genre, qui s'intéresse aux scènes roturières du quotidien (Moulinsard, 2022), pour créer des œuvres ayant un message social (Rhodes, 1997, p. 28). C'est ainsi en Angleterre que le lien entre la caricature et le *cartoon* est forgé.

Bien que le terme *cartoon* soit utilisé dans cette thèse pour décrire un certain type d'animation caricatural et humoristique, il peut, dans d'autres contextes, désigner un ensemble de formes artistiques basées sur l'exagération de la forme. À l'origine, son nom vient de l'italien *cartone*, qui désigne un carton contrecollé. Il est ensuite employé pour décrire l'esquisse préparatoire réalisée en vue de peindre un tableau ou une fresque. C'est dans le magazine britannique satirique *Punch* qu'il acquiert son sens actuel qui est un « dessin de presse », c'est-à-dire une illustration pour une publication qui est « toujours humoristique, très souvent politique » (Gabilliet, 2007, p. 1). Bien que la caricature soit le style graphique principal du *cartoon*, les deux formes ont des objectifs différents, car le but d'un *cartoon* est d'exprimer une idée, alors que la caricature vise à représenter un individu (Rhodes, 1997, p. 15). Aux États-Unis, le *cartoon* désigne initialement les bandes dessinées (*comic strips*) publiées dans les journaux de l'époque. Lorsque les *cartoonists*, tels Winsor McCay et Stuart Blackton, découvrent l'animation au tournant du dernier siècle, ils transposent le style caricatural avec lequel ils sont intimement familiers au nouvel art. Le film animé sera ainsi nommé le *animated cartoon* ou *cartoon* (Gabilliet, 2007, p. 2). Il faut préciser que les animateurs ont choisi le *cartoon* non seulement parce que le style est familier, mais parce qu'il est nettement plus facile d'animer un style caricatural qui est simple, qu'un style plus photoréaliste.

D'après Tom Richmond (2011), un auteur et caricaturiste pour *Mad Magazine*, la personne caricaturée doit être identifiable instantanément, peu importe le degré d'exagération employée (p. 3). À première vue, cet objectif ne semble pas constituer une caractéristique essentielle en animation, car les personnages animés ne sont généralement pas des célébrités ou figures connues qui doivent être reconnues par le spectateur. L'identification demeure toutefois un aspect majeur dans le design d'un personnage, car le spectateur doit être en mesure de le reconnaître rapidement d'un plan. Par conséquent, il est important qu'un personnage animé soit doté d'attributs, caractéristiques, vêtements, accessoires qui le distinguent et, idéalement, qu'il communique sa personnalité au spectateur. Un des rôles de la caricature est ainsi d'exagérer : « all of the features that make the person different from everyone else » (Redman, 2012 [1984], p. 21). En plus de faciliter la reconnaissance d'un individu, la caricature doit capter

l'essence et la personnalité du sujet de manière audacieuse[27] en exagérant de ses traits (Richmond, 2011, p. 4-7).

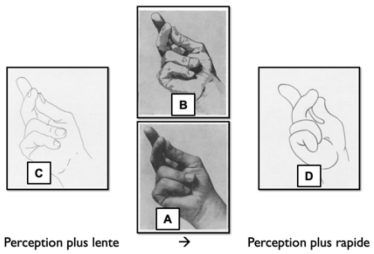
Il arrive souvent de présumer que l'exagération caricaturale ne fait que grossir les aspects physiologiques. Pourtant, l'exagération doit aussi minimiser les aspects superflus. Par conséquent, l'artiste peut faciliter le processus d'identification en élaguant, consciemment ou inconsciemment, les caractéristiques secondaires d'une forme et en exagérant ses caractéristiques majeures et uniques (Ramachandran et Hirstein, 1999, p. 18). Ce processus active les mécanismes neuronaux, amplifie les effets psychologiques et transforme une œuvre d'art caricaturale en « super stimulus » (Freeman, 1999, p. 40). Si les chercheurs qualifient la caricature de « superportrait » (Rhodes, 1997), le film d'animation peut être décrit comme le suprastimulus ultime, car l'exagération, qui est le dixième principe d'animation, est au cœur non seulement du *cartoon*, mais de l'animation de manière générale. De plus, le fait que la caricature soit basée sur une exagération de l'essence ou du *rasa* d'une chose recoupe également l'attrait (*appeal*, principe d'animation n° 12), car ce dernier dicte qu'un personnage intéressant ou charismatique possède des caractéristiques amplifiées (Thomas et Johnston, 1981, p. 68). L'historien et animateur John Canemaker (1977) croit également que plusieurs principes d'animation, dont le principe de la compression et de l'étirement, sont fondés sur une représentation caricaturale du mouvement réel (p. 58) et va même jusqu'à décrire l'animation classique de Disney comme une « impression caricaturale de la réalité » (p. 54). Mais peu importe le style, le genre ou le degré d'hyperréalisme d'une animation, la caricature peut se manifester de multiples façons en animation. La première et la plus notoire est au niveau de la forme.

L'exagération de la forme animée est un outil artistique qui peut produire des effets perceptuels divers. Premièrement, certaines études démontrent qu'une image cartoonesque est plus mémorable. Appelé le *caricature advantage* ou le *caricature effect*, ce phénomène décrit le fait qu'il est plus facile de se souvenir d'une image caricaturale (Lee, Byatt et Rhodes, 2000), car celle-ci « may convey information better by: omitting extraneous detail; focusing attention on relevant features; and by clarifying, simplifying, and disambiguating shape » (Gooch et al., 2004, p. 27). En d'autres mots, ces études suggèrent que les gabarits mentaux que nous employons pour identifier une chose sont une version exagérée et caricaturale de celle-ci. Si nos représentations mentales sont exagérées, il est possible que le système perceptuel traite les caricatures plus rapidement. C'est la conclusion d'une étude menée par Ryan et Schwartz (1956) qui

[27] Richmond (2011, p. 5) appelle cette caractéristique le *statement* ou une éditorialisation de la personnalité du sujet.

démontre que la version caricaturale d'une image (fig. 6.14D) est identifiée plus rapidement qu'une photo et un dessin ombragé (fig. 6.14B et 6.14A) de la même image. Les chercheurs remarquent aussi qu'une image schématique sans ombre (fig. 6.14C) prend le plus de temps à identifier. Se peut-il que le système visuel soit incapable de former un percept holistique à partir des petites lignes détaillées qu'il perçoit séparément ? Ceci est plausible, car nous avons vu à la section 6.3.3 que les croquis stylisés de visages activent l'hémisphère gauche (Sagiv et Bentin, 2001, p. 947). Les observations de Ryan et Schwartz (1956) suggèrent ainsi que certaines formes artistiques prennent plus de temps à traiter que d'autres, peu importe la nature de la chose représentée. Il ne faut toutefois pas confondre le *cartoon* et le croquis expressif, car Kendall *et al.* (2016) démontrent que la simplicité des informations visuelles contenues dans un *cartoon* et dans une image iconique fait en sorte que nous avons plus de facilité à identifier l'émotion exprimée par un visage cartoonesque. Les scientifiques postulent également que les représentations cartoonesques sont une catégorie distincte de stimulus, car le système perceptuel traite une image iconique et une photo réelle différemment (p. 12-13). Ceci confirme l'hypothèse de McCloud (1994) quant à l'universalité des personnages simples et symboliques et corrobore le fait que le personnage animé (animéidé) appartient à un taxum perceptuel distinct.

Figure 6.14 : Rapidité de l'identification selon le style graphique



Ces images proviennent de Ryan et Schwartz (1956, p. 66).

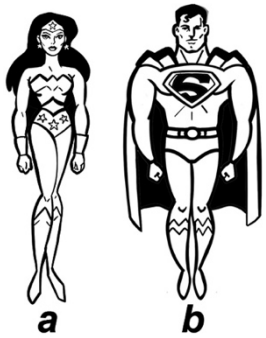
D'après une théorie issue de la neuroesthétique, qui est la branche de la psychologie neurocognitive qui étudie l'expérience esthétique, la forme caricaturale agit un peu comme une drogue plaisante sur le système perceptuel. D'après Anjan Chatterjee (2014), les aires cérébrales qui nous permettent d'identifier un objet sont également employées pour en déterminer la valence (émotionnelle). Par conséquent, le système cognitif nous récompense en nous faisant éprouver du plaisir, lorsque nous identifions une entité, même si celle-ci est désagréable (p. 34-36). Il est ainsi possible que les caricatures soient attrayantes, car le fait de les identifier rapidement (grâce au *caricature advantage*) nous fournit un plaisir instinctif immédiat. De surcroît, Chatterjee note que notre habileté à identifier les choses, nos jugements esthétiques et émotionnels, le système de récompense (*rewards system*) et nos appétits et instincts primaires forment un système interdépendant complexe. La beauté d'un corps est ainsi associée à l'appétit sexuel, alors que la beauté d'un environnement est liée à notre désir de sécurité (p. xix). Les

caractéristiques visuelles les plus saillantes qui peuvent être amplifiées par l'artiste sont donc celles qui sont associées à nos instincts primaires, aux stimuli supranormaux et au phénomène du *peak shift*.

6.7.2 L'exagération, le *peak shift* et les stimuli supranormaux

En 1951, Tinbergen et Perdeck (1951) mènent une expérience avec des goélands argentés (*herring gulls*). Les poussins de l'espèce tapent le bec de leur mère lorsqu'ils ont faim et celle-ci leur donne à manger. Les chercheurs découvrent toutefois que le poussin n'est pas en mesure de différencier le bec de leur mère, qui est jaune et est marqué d'une tache rouge, d'une forme similaire. Les oisillons tapent ainsi sur un bâton marqué avec une ligne rouge comme s'il s'agissait du bec de leur mère. L'effet est si puissant et automatique qu'il est amplifié plus l'objet a de taches rouges. Par conséquent, lorsque trois lignes rouges sont présentes sur le bâton, les poussins tapent dessus avec encore plus d'enthousiasme et le préfèrent même au bec de leur propre mère ! Puisque la tache rouge est un stimulus visuel qui provoque une réaction exagérée, elle est décrite comme un *supernormal stimulus* (Tinbergen et Perdeck, 1951, p. 22). Bien que la culture, l'éducation et la maîtrise de soi atténuent leurs effets (Spivey, 2005), les humains demeurent néanmoins susceptibles aux stimuli supranormaux. La réaction exagérée que nous éprouvons lorsque nous sommes exposés à un stimulus dont certaines caractéristiques ont été exagérées s'appelle le *peak shift response* (Chatterjee, 2014, p. 45). Avant de procéder, il faut noter que les postulats qui seront décrits reposent sur les différences biologiques entre les sexes qui peuvent être exagérées par des forces culturelles pour renforcer les normes hétéronormatives. Nous avons néanmoins choisi de décrire ces recherches sans argumenter pour leur perpétuation, car l'animation exploite malheureusement le *peak shift* pour perpétuer les stéréotypes des genres.

Figure 6.15 : Peak shift et le dimorphisme sexuel



Images créées par l'auteur.

Le design des superhéros, tels Superman et Wonder Woman (voir fig. 6.15), exploite le phénomène du *peak shift* pour créer des corps expressifs et attrayants en accentuant les différences morphologiques associées au sexe du personnage (Chatterjee, 2014, p. 64-65). Bien que ces écarts, appelés dimorphismes sexuels, soient relativement mineurs dans la réalité, il existe toutefois des variations anatomiques au

niveau de la largeur moyenne des épaules, de la taille et des hanches[28] qui peuvent être accentuées par une œuvre d'art. En moyenne, les hommes ont les épaules plus larges que celles des femmes et les femmes ont des poitrines et des hanches plus larges que celles des hommes. De plus, les hommes hétérosexuels trouvent les femmes qui ont une taille plus étroite que leurs hanches[29] plus attirantes (Hughes et Gallup, 2003; Lassek et Gaulin, 2016; Singh *et al.*, 2010; Streeter et McBurney, 2003). Il faut toutefois noter qu'il existe des études qui démontrent que cette préférence n'est pas universelle, car les hommes de certaines sociétés traditionnelles au Pérou (Yu et Shepard, 1998), en Équateur (Sugiyama, 2004), et en Tanzanie (Wetsman et Marlowe, 1999), accordent moins d'importance à ce ratio. Les femmes hétérosexuelles trouvent plus attractifs les hommes qui ont les épaules plus larges que la taille (Braun et Bryan, 2006; Gangestad et Scheyd, 2005, p. 538; Hughes et Gallup, 2003; Swami et Tovée, 2005). Au niveau physionomique, les visages d'homme qui ont des pommettes plus proéminentes et des visages plus longs sont plus attrayants (Scheib *et al.*, 1999).

Comme dans les *comic books* de superhéros, les animateurs exploitent aussi le *peak shift* causé par les stimuli supranormaux pour représenter des corps plus attrayants et expressifs. Dans sa série animée des années 1990-2000, Superman a de larges épaules qui donnent à son torse la forme d'un triangle inversé (voir fig. 6.15b). Tout comme Wonder Woman (fig. 6.15a), Betty Boop, qui figure dans les films des frères Fleischer[30], et Jessica Rabbit, qui apparaît dans *Who Framed Roger Rabbit*, ont une taille de guêpe qui est bien plus étroite que la normale. Bien que ces résultats aient été confirmés par d'énumérables expériences scientifiques réalisées à travers le monde (Dixson, B. J. *et al.*, 2010; Furnham *et al.*, 2002; Streeter et McBurney, 2003), il faut évidemment noter qu'il est réducteur de présumer que la beauté et l'attrait d'un personnage résultent de ratios anatomiques associés au désir. Nous croyons également que les caractéristiques corporelles associées au dimorphisme sexuel sont exagérées dans les arts, car, dans

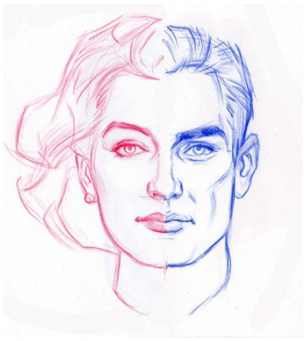
[28] Comme nous l'avons démontré au début de ce chapitre, les recherches en PLD démontrent que ces différences anatomiques produisent des mouvements distincts. Il est ainsi possible d'identifier le sexe d'un marcheur en ne voyant que ses mouvements (Barclay *et al.*, 1978; Kozlowski et Cutting, 1978; Mather et Murdoch, 1994; Troje, 2002; Troje *et al.*, 2006).

[29] Le ratio exact, appelé le *hip-to-waist ratio* (WHR), est de 0,7. En d'autres mots, la taille est 7/10 de la largeur des hanches (Dixson, B. J. *et al.*, 2010).

[30] La création de Betty Boop, qui est fort probablement basée sur l'actrice Helen Kane (1904-1966), est traditionnellement attribuée à Grim Natwick (1890-1990). Par contre, comme le note Pointer (2017, p. 94), Berny Wolf, Seymour Kneitel, « Doc » Crandall, Willard Bowsky, et James « Shamus » Culhane ont aussi contribué au développement du personnage qui est devenu la « Queen of the Animated Screen » et la star des studios Fleischer dans les années 1930 (p. 96). Étrangement, Natwick a aussi participé à la création de Blanche Neige. Les premières versions de celle-ci sont réalisées par Ham Luske, mais Disney n'est pas satisfait du résultat. Il croit avec raison qu'il serait non seulement improbable, mais troublant, que le Prince tombe en amour avec une jeune fille. Il embauche donc Natwick pour la vieillir et lui donner un peu de sensualité. Sans surprise, la version de Natwick est trop osée. La Blanche Neige qui figure dans le film (Hand, 1938) est par conséquent un compromis entre l'hypersexualisation de Natwick et l'innocence enfantine de Luske (Mitenbuler, 2020, p. 155).

les faits, les différences entre les sexes sont relativement mineures. Donc, à moins d'être une incarnation de Conan the Barbarian ou de Barbie, nous avons beaucoup plus de traits en commun au niveau physique que de caractéristiques qui nous distinguent les uns des autres. Par conséquent, l'exagération de stimuli supranormaux sert en quelque sorte de raccourci visuel qui permet à l'audience de différencier les personnages rapidement. La similarité morphologique entre les sexes est particulièrement évidente lorsqu'un artiste doit dessiner un visage. Le simple fait d'ajouter certaines lignes au portrait d'une femme à l'effet de la vieillir. De plus, l'emploi de lignes plus angulaires masculinise un visage et les lignes courbes le féminisent. Le fait que l'ajout de quelques lignes puisse produire ces effets dramatiques semble bizarre et démesuré. Après tout, nos visages sont formés, peu importe notre sexe, de muscles et de chair interconnectés dont les chevauchements forment des lignes, des creux et des zones ombragées. Comment se fait-il que ces conventions graphiques fonctionnent (voir fig. 6.16) ? Il se peut que le système perceptuel féminise un visage en ignorant ces lignes, car la société associe la douceur aux visages féminins. Il est aussi possible que ce phénomène soit associé au rôle de la ligne dans un dessin. Puisqu'un dessin est composé de peu de lignes, chacune de celles-ci doit représenter une information importante. Par conséquent, si une ligne est utilisée pour représenter une ride, l'impact de ce trait est amplifié de manière démesurée. Ces observations nous amènent à croire qu'il est probable que les astuces artistiques aient été développées pour représenter des processus perceptuels basés sur des conventions et stéréotypes culturels. L'emploi de la néoténie dans les arts est un autre exemple de comment l'exagération de certains traits peut renforcer des représentations négatives de genre.

Figure 6.16 : Différences physiologiques - mâle/femelle



Dessin réalisé par Romero (2013).

6.7.3 Néoténie

La néoténie se définit comme étant l'imitation chez un adulte des traits prépubertaires ou juvéniles (Bjorklund, 2022; Jones, D. *et al.*, 1995; Keating *et al.*, 2003). Ces traits sont des yeux plus gros, des lèvres pulpeuses, un menton plus petit, et un front plus large et proéminent. Ces caractéristiques s'atténuent avec l'âge, mais peuvent persister chez l'adulte. Lorsque cela arrive, nous semblons attribuer des traits de personnalité juvéniles aux personnes conservant des traits physiologiques juvéniles. Puisque les yeux jouent un rôle important dans la néoténie, il est important d'apporter les clarifications suivantes quant au développement des yeux avant de continuer. Contrairement aux idées reçues, il n'est pas vrai que les yeux

ne changent pas de taille durant notre croissance, car ils continuent de grossir jusqu'à l'âge adulte. Cela dit, les yeux des nourrissons sont effectivement larges, car ils ont 2/3 de la longueur qu'ils auront à l'âge adulte[31] et atteignent 85 % de leur taille adulte à l'âge de 5 ans (Fledelius *et al.*, 2014)[32]. En d'autres mots, les enfants naissent avec de gros yeux qui semblent encore plus larges, car ils représentent une proportion plus importante de leur visage.

Quels sont les traits de personnalité associés aux traits néoténiques ? Se basant sur la recension réalisée par Keating *et al.* (2003), un personnage doté de caractéristiques néoténiques est perçu comme étant : « weak, submissive, helpless, dependent, feminine, and warm in different countries and across races » (p. 91). À l'inverse, un personnage ayant des yeux plus petits, une mâchoire angulaire, et des lèvres plus minces est perçu comme étant plus masculin, dominant et indépendant » (p. 92). L'arrivée des dents, par exemple, rend la mâchoire plus angulaire (Keating *et al.*, 2003, p. 91). Ces impressions semblent être universelles, mais il n'est pas clair à quel point la supposée universalité de ces postulats est culturelle, car elles se fondent sur des stéréotypes de genres et les canons hétéronormatifs qui sont malheureusement ancrés et inculqués dès un jeune âge dans la plupart des sociétés. Ces effets, présents lorsque nous regardons une personne réelle, sont naturellement transposés aux personnages animés qui possèdent des traits néoténiques. Par conséquent, en élargissant les yeux d'un personnage, l'animatrice le rend plus enfantin et mignon, mais aussi plus vulnérable et soumis. Ceci est extrêmement problématique en animation, car en animation occidentale, ce sont typiquement les personnages féminins qui ont des yeux beaucoup plus larges que leurs homologues mâles qui possèdent des yeux plus petits. Une étude récente montre aussi que les personnages animés possèdent des yeux qui sont entre deux ou trois fois plus larges que la normale et les pupilles des personnages féminins sont deux fois plus grandes que celles des personnages masculins[33] (Rozema *et al.*, 2022, p. 107). Les princesses de Disney sont l'exemple le plus flagrant de cette pratique, qui se manifeste fréquemment en animation. De surcroît, la journaliste Jenna Mullins (2015) illustre en image le fait que la taille des princesses de Disney (p. ex. Belle, Ariel, Jasmine, etc.) est plus étroite que leurs yeux immenses. Le fait d'exploiter les effets de la néoténie avec ceux du *peak shift* est troublant, car les personnages féminins incarnent une sexualité prépubertaire. Puisqu'il existe de multiples styles en animation, nous n'irons pas jusqu'à dire que la néoténisation des

[31] La longueur moyenne de l'œil d'un nourrisson est d'environ 16,5 mm. L'œil adulte mesure environ 24 mm (Fledelius *et al.*, 2014).

[32] La dernière poussée de croissance est durant la puberté (Coats, 2014; Purkait, 2013).

[33] Il est difficile de déterminer si ces différences genrées se limitent aux animations occidentales, car nous n'avons pas trouvé d'étude comparant les variations dans la taille des yeux entre les personnages masculins et féminins d'une culture à l'autre.

personnages féminins est un phénomène endémique. Les créateurs de la nouvelle série animée de *She-Ra and the Princesses of Power* (Stevenson, N. et Austen, 2018-2020), par exemple, semblent être très conscients de la diversité corporelle et des représentations de genre. Cela dit, un survol sommaire des productions commerciales semble indiquer que cette pratique est plus commune que souhaité. En dépit de ce côté sombre face auquel nous devons rester vigilants, la néoténie confère néanmoins certains avantages perceptuels dans certaines circonstances lorsqu'elle est utilisée avec modération. La néoténie peut, par exemple, rendre des personnages pour enfants, plus adorables. C'est ce qui arriva à Mickey Mouse.

Dans l'essai humoristique « A Biological Homage to Mickey Mouse » (1980), le biologiste évolutionniste, Stephen Jay Gould (1941-2002), note qu'au fil des ans le design de Mickey Mouse perd progressivement ses traits de rongeur (p. ex. museau allongé) pour adopter des formes néoténiques. De la même manière que ces changements physiques ont transformé Mickey, un rongeur mesquin, en mascotte mignonne qui plait à un public de tous âges (p. 98), les émissions et les films animés pour enfants exploitent également le pouvoir de la néoténie pour amplifier des traits qui sont souvent déjà juvéniles. Pour rendre des enfants encore plus adorables et attachants, Jack-Jack, le bébé des films *The Incredibles* (Bird, 2004, 2018), les nourrissons de *Cry Babies Magic Tears* (Cervantes, 2018), et même Stewie Griffin de *Family Guy*[34] (MacFarlane, 1999-2022) sont trois exemples d'enfants dotés de traits supranéoténiques. Rendre des enfants encore plus enfantins semble tout à fait raisonnable d'un point de vue artistique, car l'artiste ne fait qu'exagérer des traits existants (voir fig. 6.17). Une exagération des yeux et de la tête d'un personnage, peu importe son âge, est aussi logique d'un point de vue perceptuel, car ils sont relativement petits dans la réalité. Nous ne remarquons généralement pas leur taille restreinte, car l'attention que nous y portons semble avoir l'effet perceptuel de les grossir. Par conséquent, si un artiste souhaite utiliser les yeux de son personnage pour exprimer les émotions et les intentions de ce dernier, il est utile de les agrandir. L'élargissement les rend plus expressifs et permet au spectateur de bien suivre le regard du personnage. Au Japon, la néoténie est aussi une caractéristique marquante de certains styles artistiques employés en bande dessinée (*manga*) et en animation (*anime*). Ces styles exploitent l'expressivité des yeux en mettant

Figure 6.17 : Néoténie

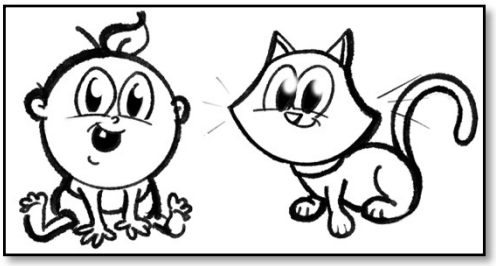


Image créée par l'auteur.

[34] Le contraste entre la personnalité diabolique de Stewie et ses traits néoténiques contribue à l'attrait du personnage.

en scène des personnages de tous types (animaux, robots, hommes, femme, etc.) possédant des yeux énormes (Lamarre, 2011). Il faut toutefois faire particulièrement attention à la néoténie et au phénomène du *peak shift* lorsque l'animation vise un jeune public qui est plus susceptible à son pouvoir. Non seulement la néoténie peut-elle rendre un personnage plus adorable dans le but de vendre plus de marchandise, elle peut aussi renforcer des stéréotypes de genre lorsque jumelée au *peak shift*.

De la même manière que Chatterjee (2014, p. 82) décrit le *junk food* comme étant une caricature de la vraie nourriture, nous croyons qu'il est raisonnable de décrire la caricature comme étant une forme de malbouffe perceptuelle, car elle se consume rapidement, nous récompense à court terme, et peut occasionner des conséquences néfastes et sournoises à long terme, si elle est appliquée sans discernement. Étant conscient de leurs effets à la fois négatifs et positifs, nous croyons que l'artiste peut utiliser la néoténie, les stimuli supranormaux et le *peak shift,* avec modération et de manière éclairée.

6.7.4 La beauté de la symétrie et de la médiane

Il n'y a pas que l'exagération de traits associés au dimorphisme sexuel qui font en sorte que nous trouvons un personnage attrayant. La symétrie bilatérale du corps et du visage produit un effet similaire. En d'autres mots, si le côté gauche d'un visage ou du corps est symétrique au côté droit, nous le trouvons plus attrayant. L'explication scientifique traditionnelle pour ce phénomène est que la symétrie est un bon indicateur de l'état de santé générale de la personne (Thornhill et Gangestad, 1999). D'après cette théorie bioévolutionniste, nous trouvons les corps et visages symétriques attractifs, car les chances de survie de nos gènes sont plus élevées si nous nous accouplons avec un individu en santé. Une recherche plus récente semble toutefois indiquer que l'asymétrie morphologique n'est pas causée par des problèmes de santé durant l'enfance (Pound *et al.*, 2014). L'asymétrie peut néanmoins être le résultat de problèmes de santé graves dans des cas extrêmes. Puisque l'avantage évolutif de s'accoupler avec un partenaire symétrique est faible, alors qu'il est plus risqué d'avoir des enfants avec quelqu'un de très asymétrique, les chercheurs croient que ce n'est pas la symétrie qui nous plaît, mais l'absence d'asymétrie (Rhodes *et al.*, 2003; Zebrowitz et Rhodes, 2004).

Bien que l'accent ait été mis jusqu'à présent sur l'attrait de l'exagération, il faut noter que nous sommes aussi attirés par les traits médians[35]. L'attrait de la norme a été découvert par le cousin de Charles Darwin,

[35] Les écrits anglophones décrivent cette caractéristique comme étant du *averageness* (Grammer et Thornhill, 1994).

Francis Galton (1822-1911) dans des circonstances exceptionnelles. En plus d'avoir inventé les corrélations statistiques et la dactyloscopie[36], ce polymathe anglais a inventé la technique du portrait composite, qui lui permet de produire un seul portrait en combinant les visages apparaissant sur plusieurs photos. L'apparence de cette personne représente la moyenne des traits de toutes les personnes qui la composent. La combinaison d'un individu ayant un gros nez, par exemple, avec un autre qui a un petit nez produit une personne qui a un nez de taille moyenne. Se basant sur la doctrine de la physiognomonie qui propose à tort que les traits faciaux reflètent le portrait psychologique d'une personne[37] et les travaux du criminologue français Alphonse Bertillon (1853-1914)[38], Galton (1879, 1889) développe cette technique dans le but de découvrir le visage archétypique du criminel. L'idée est simple. Puisque les traits psychologiques d'un individu se manifestent dans ses traits physiologiques, une fusion de plus de 20 photos (Wilkinson *et al.*, 2020, p. 2) d'hommes condamnés pour des crimes violents produira un portrait composite représentant le visage archétypique du voyou. Toutefois, au lieu de découvrir l'essence physionomique et hideuse de la criminalité, la combinaison des traits a l'effet contraire. Galton observe ainsi que : « […] the features of the composites are much better looking than those of the components. The special villainous irregularities in the latter have disappeared, and the common humanity that underlies them has prevailed » (Galton, 1879, p. 135). Comment se fait-il que des traits « moyens » soient attirants ? Galton croit que moyenner les traits élimine les irrégularités qui enlaidissent un visage. Son explication semble logique et concorde avec les recherches citées plus tôt indiquant que c'est le manque d'asymétrie qui est attirant, plutôt que la symétrie qui est belle. Il faut réitérer que le visage composite moyen n'est pas ordinaire, banal, ou oubliable (Chatterjee, 2014, p. 12). Puisque les caractéristiques ne sont donc ni trop grandes ni trop petites, elles représentent un juste milieu idéal. En dépit de l'attrait de l'exagération, la médiane est belle, car elle représente un équilibre sécuritaire. Cette hypothèse pourrait expliquer, du moins en partie, pourquoi les vilains en fiction, tels Captain Hook dans *Peter Pan* (Geronimi *et al.*, 1953), Two Face dans les bandes dessinées et les films de Batman (p. ex. Schumacher, 1995), ou la

[36] La dactyloscopie est le : « Procédé d'identification par les empreintes digitales » (Antidote, 2022g).

[37] À ne pas confondre avec la physionomie, qui décrit l'« ensemble des traits particuliers qui composent un visage » (Antidote, 2022q), la physiognomonie est popularisée par Johann Kaspar Lavater (1741-1801) au XIXe siècle (Wilkinson *et al.*, 2020, p. 2). Tout comme la phrénologie (voir chap. 1) à laquelle elle s'apparente, elle est une pseudoscience discréditée qui a malheureusement été utilisée pour justifier des croyances et politiques racistes.

[38] Bertillon est une figure éminente en criminologie à son époque. Sanchez (2012, p. 64) remarque, par exemple, qu'un des personnages dans *The Hound of the Baskerville* (Doyle, 1976 [1902], p. 346) informe Sherlock Holmes que le détective n'est que le deuxième expert européen en criminologie après Bertillon. En plus de prendre un criminel en photo pour permettre son identification, les méthodes anthropométriques d'Alphonse Bertillon (1853-1914) consistent à enregistrer méticuleusement ses données physionomiques (p. ex. tatouages, cicatrices, taille du crâne, longueur des bras, etc.). L'anthropométrique est éventuellement remplacée par la dactyloscopie, qui est l'étude des empreintes digitales (Sanchez, 2012, p. 65).

sorcière dans *Snow White and the Seven Dwarfs*, ont généralement des traits exagérés et parfois difformes, car ce sont les excès physionomiques et l'asymétrie qui nous déplaisent. Une autre preuve que l'asymétrie est inquiétante est l'existence de la vallée de l'étrangeté, un phénomène perceptuel qui est associé en partie à une quête du réalisme, plutôt que de l'hyperréalisme en animation.

6.8 La vallée de l'étrangeté

Attribuée à Masahiro Mori (1970) et illustrée à la figure 6.18, la vallée de l'étrangeté[39] est un phénomène complexe et élusif qui décrit l'ensemble des sentiments négatifs ressentis lorsque nous percevons une entité (robot, jouet, personnage animé, etc.), dont l'apparence est presque humaine sans toutefois l'être.

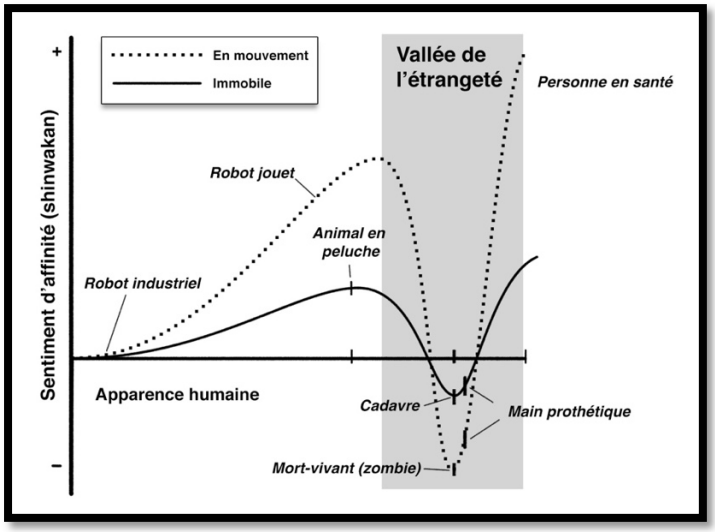


Figure 6.18 : La vallée de l'étrangeté

La ligne pointillée représente l'effet du mouvement sur le sentiment de familiarité ou d'étrangeté. Cette figure combine des éléments de la traduction anglaise de l'article (Mori, 2012 [1970]-b, p. 99) avec des éléments de sa traduction en français (Mori, 2012 [1970]-a, p. 28).

En dépit du fait que le phénomène soit souvent cité en animation pour expliquer pourquoi certains personnages de synthèse, notamment ceux des films *The Polar Express* (Zemeckis, 2005) et *Beowulf* (Zemeckis, 2008), semblent bizarres et inquiétants (Aldred, 2011; Geller, 2008), et qu'il fascine à la fois les chercheurs[40] et la culture populaire (Azarian, 2015; Morgan, 2011; Thompson, C., 2017), l'origine du terme est peu connue et il n'y a pas encore de consensus définitif sur sa cause. Puisque la vallée de l'étrangeté est un phénomène apparenté à l'exagération, au réalisme et à l'hyperréalité, et qu'il soulève des enjeux importants en animation, nous commencerons par relater brièvement les origines du concept.

[39] Comme nous l'avons mentionné au sein de l'introduction, le concept du *uncanny valley* se traduit en français par la « vallée de l'étrange » (Mori, 2012 [1970]-a) ou par la « vallée de l'inquiétante étrangeté ». Nous avons choisi d'appeler le phénomène la « vallée de l'étrangeté », car nous croyons que cette fusion des termes capte la qualité vague et inusitée du sentiment.

[40] En date du 19 juillet 2018, une recherche du terme « *The Uncanny Valley* » sur le site scholar.google.ca affiche environ 17 400 résultats d'ouvrages et de citations écrits entre 2005 et 2018.

Nous aborderons ensuite la nature vague et subjective de l'étrangeté et présenterons trois hypothèses qui pourraient l'expliquer.

6.8.1 Les origines étranges de l'étrangeté

Il est important de relater les origines de la vallée de l'étrangeté, car elles expliquent la nature ambiguë du phénomène et pourquoi il est difficile d'en identifier la cause. La première chose à noter est que l'article original de Mori, intitulé « Bukimi no tani » (不気味の谷), a été écrit en japonais et est publié dans *Energy* (Mori, 1970), une revue scientifique peu connue. Puisque son éditeur souhaite publier un numéro intitulé : « Robotics and Thought », il invite Masahiro Mori, qui est alors un professeur d'ingénierie au Tokyo Institute of Technology, à participer à une table ronde pour discuter du thème[41] (Kageki, 2012). L'essai de Mori qui résulte de cette rencontre se veut une œuvre spéculative et non un article savant. Par conséquent, la vallée de l'étrangeté n'est pas une théorie scientifique, mais a été plutôt conçue comme un conseil pratique basé sur des observations et prédictions de Mori, qui avait peur des figures de cire dans sa jeunesse[42]. Huit ans plus tard, la critique d'art britannique Jasia Reichardt décrit l'hypothèse de Mori, qu'elle traduit par *uncanny valley*[43], dans *Robots : Fact, Fiction and Prediction* (1978, p. 26-27), un livre populaire sur les robots. En dépit de cette première apparition du terme dans les écrits anglophones, le concept de Mori est oublié jusqu'à ce qu'il soit redécouvert à l'extérieur du Japon en 2005 lorsqu'une traduction anglaise de l'essai est présentée à une conférence de robotique organisée aux États-Unis (Kageki, 2012)[44]. Cette première traduction en anglais n'est pas approuvée par Mori et est réalisée par MacDorman et Norri Kageki rapidement (en une heure au petit matin). Lors d'une entrevue (Hsu, 2012), MacDorman regrette ce travail précipité, car certaines nuances importantes ont été perdues lors

[41] Les autres participants à la table ronde sont Natsuhiko Yoshida (professeur de logique et de philosophie aussi au Tokyo Institute of Technology) et Sakyo Komatsu, un auteur de science-fiction (Kageki, 2012).

[42] Mori explique l'origine du concept ainsi : « Since I was a child, I have never liked looking at wax figures. They looked somewhat creepy to me. At that time, electronic prosthetic hands were being developed, and they triggered in me the same kind of sensation. These experiences had made me start thinking about robots in general, which led me to write that essay. The uncanny valley was my intuition. It was one of my ideas » (Kageki, 2012).

[43] Reichardt ne précise pas dans le livre pourquoi elle traduit le concept japonais par *uncanny valley*. Pollick (2009) spécule que le terme *uncanny* a été choisi, car il résonne avec « Das Unheimlich ». Selon le Dictionnaire de la psychanalyse (Roland et Vandermersch, 2003), ce concept freudien, appelé « l'inquiétante étrangeté » (Freud, S., 2003) ou « le sentiment d'étrangeté » en français, se définit comme un : « Sentiment de malaise et de bizarrerie devant un être ou un objet pourtant familier et parfaitement reconnu » (p. 128).

[44] Il est difficile de déterminer pourquoi 30 ans s'écoulent avant que les savants occidentaux s'intéressent au phénomène de la *uncanny valley*, car l'explication de Reichardt est claire et inclut même le schéma de Mori. De plus, bien que le terme n'apparaît pas dans *Cybernetics, art and ideas* (Reichardt, 1971), un livre dont Reichardt est l'éditrice, celle-ci décrit le concept de Mori à nouveau dans l'article « Artificial Life and the Myth of Frankenstein » (1994). Nous croyons que le phénomène demeure peu connu par les savants anglophones, parce que *Robots : Fact, Fiction and Prediction* est un livre rare et les écrits de Reichardt semblent orientés vers un public artistique plutôt que savant.

de la traduction. En premier lieu, « Bukimi no tani », qui est le titre japonais de l'article (Mori, 1970), ne se traduit pas en anglais par *uncanny valley*, mais plutôt par *Valley of Eeriness*[45] (Hsu, 2012). La deuxième nuance importante est que Mori emploie le terme *shinwakan* pour décrire le sentiment d'étrangeté. Bien que *shinwakan* puisse être traduit par « familiarité » ou « affinité » en français, ces termes captent mal le sentiment japonais, car ce dernier a une dimension humaine de proximité presque spirituelle que MacDorman décrit ainsi : « it is that feeling of being in the presence of another human being – the moment when you feel in synchrony with someone other than yourself and experience a 'meeting of minds' » (Hsu, 2012). Le *shinwakan* n'a pas nécessairement la connotation négative qui est suggérée par le concept de la vallée de l'étrangeté. Selon MacDorman, il acquiert toutefois une valence négative lorsque le sentiment de synchronie qui unit deux entités s'effondre et chute dans la vallée décrite par Mori. Pour mieux saisir la signification du sentiment japonais, MacDorman et Kageki remplacent le terme « familiarité », qu'ils avaient employé en 2005, par « affinité » dans la version officielle de 2012 qui est rédigée avec l'accord de Mori (2012 [1970]-b). Bien que de cette substitution importante ait été apportée, il demeure que le terme « affinité » ne suffit toujours pas à capter toute la richesse émotionnelle du *shinwakan*.

6.8.2 L'ambiguïté de l'étrangeté

En dépit du fait que la vallée de l'étrangeté génère énormément de recherches et d'intérêt, il n'y a toujours pas de consensus dans les écrits scientifiques sur les causes du phénomène. Puisque le concept de *shinwakan* est à l'origine basé sur les propres observations de Mori et non sur des expériences empiriques[46], les scientifiques venant de plusieurs disciplines (p. ex. la robotique, l'informatique et les branches de la psychologie) cherchent d'abord à déterminer si la UVH (*Uncanny Valley Hypothesis*) existe vraiment (Burleigh *et al.*, 2013; Pollick, 2009). Ayant démontré que le phénomène est réel, les recherches subséquentes essayent d'identifier les facteurs qui le provoquent. Avant de présenter les hypothèses dominantes, il est utile d'établir quels types de choses ou d'entités suscitent un jugement émotionnel d'étrangeté. Selon la prédiction de Mori (2012 [1970]-b, p. 99), le *shinwakan* négatif serait le plus fort lorsque nous sommes exposés à des entités ou choses morbides (p. ex. des cadavres et des zombies). Il serait aussi causé par des entités qui ont une apparence humaine, mais ne le sont pas (p. ex. des marionnettes et des robots). Il faut cependant préciser que Mori ne considère pas les robots comme étant

[45] Le terme français « étrangeté » est ainsi plus proche de la version originale.

[46] Mori précise en entrevue que son concept était un conseil pratique destiné aux designers de robots et est surpris par le fait que ce dernier soit devenu une théorie scientifique (Kageki, 2012).

extrêmement *étranges*, probablement parce que ces derniers sont beaucoup moins réalistes en 1970 qu'aujourd'hui. De plus, bien que les personnages de synthèse (3D) soient souvent cités dans les écrits comme étant la quintessence de l'étrangeté (Butler et Joschko, 2009; Pollick, 2009), ces derniers ne sont pas mentionnés par Mori, parce qu'ils n'existent pas à l'époque.

Donc, pourquoi avons-nous peur des robots et des zombies ? Cette question semble réductrice, mais elle va au cœur des enjeux et des problèmes causés par la vallée de l'étrangeté. Car, à moins de travailler sur un film d'horreur, l'industrie du film veut éviter des vedettes qui aliéneront leur public. Mais surtout, la distinction zombie-robot est utile, car elle peut expliquer le fait que les théories portant sur la vallée de l'étrangeté décrivent au moins deux phénomènes distincts. D'après Kätsyri *et al.* (2015), les trois explications sont : l'hypothèse de la morbidité (*morbidity hypothesis*), l'hypothèse de l'ambiguïté catégorique et l'hypothèse de la disparité perceptuelle (*perceptual mismatch*).

L'hypothèse de la morbidité stipule que nous avons peur de notre propre mortalité et de tout ce qui représente la mort (MacDorman et Chattopadhyay, 2016; Mori, 2012 [1970]-b). Les études portant sur la révulsion considèrent que cette peur de la mort est réellement une forme de dégoût corporel (*body disgust*). Selon Herz (2012), le dégoût corporel, qui est associé à nos sens et est ressenti au niveau physiologique, fait que nous évitons les maladies (pathogènes), que nous sommes dégoûtés par les cadavres, et que nous évitons ce qui pourrait nous contaminer. L'hypothèse de la morbidité a mené certains chercheurs à examiner le rapport entre l'étrangeté et les émotions qu'elles suscitent (p. ex. amabilité, familiarité, peur, dégoût). Il semble cependant que cette approche émotionnelle ait été abandonnée après que les chercheurs (Ho et MacDorman, 2010; Ho *et al.*, 2008; Tinwell, 2009) aient réalisé que la complexité émotionnelle de l'étrangeté ne peut pas être réduite à une seule émotion mesurable[47]. Bien que cette avenue de recherche n'ait pas porté ses fruits, l'hypothèse de la morbidité et ses liens avec le dégoût corporel peuvent néanmoins expliquer pourquoi nous avons une peur instinctive des zombies, car ces créatures incarnent notre propre mortalité et la maladie. Pour cette raison, Mori (2012 [1970]-b, p. 99) place les morts-vivants tout au fond de la vallée de l'étrangeté (figure 6.18).

Pour expliquer l'étrangeté des robots, des marionnettes et des personnages de synthèse, il faut examiner les deux autres hypothèses. L'hypothèse de l'ambiguïté catégorique propose que les entités ou objets

[47] Rappelons aussi que MacDorman a souligné la complexité culturelle du sentiment en japonais, lorsqu'il compare le *shinwakan* négatif au sentiment que l'on éprouve quand la connexion humaine est perdue (Hsu, 2012).

dont l'apparence est presque humaine suscitent une réaction négative, car nous avons de la difficulté à déterminer s'ils sont humains ou inhumains et que cette ambiguïté suscite des émotions négatives (MacDorman *et al.*, 2009; Yamada *et al.*, 2013). L'incertitude catégorique provoque selon Misselhorn (2009) une dissonance cognitive qui cause un inconfort psychologique qui, à son tour, peut miner l'empathie de l'observateur envers l'entité. Il est cependant intéressant de noter qu'un groupe de chercheurs, examinant des interactions réelles entre humains et machines (HRI ou *human robot interaction*), découvre que le simple fait d'interagir avec un robot diminue le degré d'étrangeté avec le temps, peu importe le degré de réalisme de ce dernier (Zlotowski *et al.*, 2015, p. 1). Au cœur de cette hypothèse se trouve la croyance que les personnages de synthèse sont « étranges », parce qu'ils ne sont pas assez réalistes. La solution serait donc de pousser le degré de réalisme encore plus loin jusqu'à ce que nous soyons en mesure de représenter un personnage de synthèse qui est si photoréaliste qu'il soit impossible de le différencier d'une vraie personne. Cette théorie est intéressante, car elle touche à plusieurs phénomènes et sujets abordés jusqu'à présent dans cette thèse. D'abord, la notion que nous sommes repoussés par ce qui est difficilement catégorisable rejoint la distinction animé-inanimé traitée en détail dans ce chapitre, car, si le système visuel a de la difficulté à catégoriser un personnage comme étant soit animé ou réel, nous aurions un exemple de l'existence d'une catégorie perceptuelle spéciale employée pour désigner les animéidés. Ensuite, elle constitue un autre exemple du fait que la perception ne tolère pas l'ambiguïté (voir chap. 4). Finalement, elle illustre la tendance de l'industrie hollywoodienne à vouloir pousser la technologie plus loin et à créer des films d'action qui dépendent d'effets visuels photoréalistes (voir chap. 5). En dépit de tous ces parallèles et du fait que l'hypothèse soit citée dans les écrits populaires pour expliquer l'échec commercial de films comme *The Polar Express* et *Final Fantasy* (Sakaguchi et Sakakibara, 2001), il existe relativement peu de preuves empiriques démontrant que l'étrangeté est causée par le degré de réalisme du personnage de synthèse (Blow, et al., 2006).

L'hypothèse de la disparité perceptuelle (*perceptual mismatch*) stipule que le *shinwakan* négatif est causé par : « an inconsistency between the human-likeness levels of specific sensory cues » (Kätsyri *et al.*, 2015, p. 12). MacDorman et Chattopadhyay (2016) attribuent ainsi l'étrangeté à des niveaux de réalisme différents (ou disparates) dans les traits de l'entité. Ils signalent que les yeux, les cils et la bouche sont les zones du visage auxquelles l'artiste ou le roboticien doit porter le plus d'attention, car des disparités stylistiques et de réalisme entre leur apparence et le reste du visage augmentent le sentiment d'étrangeté et réduisent la familiarité (MacDorman et Chattopadhyay, 2016). La notion selon laquelle les yeux jouent un rôle crucial dans ce processus est confirmée par de multiples études consacrées au UVH. Seyama et

Nagayama (2007), par exemple, démontrent que l'étrangeté d'un personnage augmente lorsque ses yeux sont bizarres. Le pouvoir des yeux à provoquer un sentiment d'étrangeté est bien illustré dans le long-métrage animé *Coraline* (Selick, 2009), où les personnages maléfiques habitant un univers parallèle ont des boutons à la place des yeux. Tinwell, Nabi et Charlton (2013) corroborent à leur tour l'hypothèse de la disparité perceptuelle et suggèrent que le sentiment d'étrangeté est causé par le fait que nous associons un manque d'émotions ou de réaction dans les yeux et dans la zone supérieure du visage à la psychopathie. Le fait que les recherches identifient les yeux comme étant une source d'étrangeté n'est pas surprenant, car nous venons de voir que nous sommes hypersensibles à ces derniers. Il est donc logique qu'un problème au niveau des yeux ait des répercussions perceptuelles négatives. En dépit de notre fascination pour les yeux, il se peut qu'ils ne soient pas aussi importants que nous le croyons, car Laja Uggah et Manaf (2015) observent que l'humanité d'un personnage de synthèse est transmise d'abord par ses expressions faciales, puis par ses mouvements. Dans leur recensement des différentes hypothèses cherchant à expliquer l'UVH, Kätsyri *et al.* (2015) jugent que la théorie de la disparité perceptuelle est la plus prometteuse. Finalement, elle est compatible avec l'hypothèse de l'ambiguïté catégorique, car le problème causé par des personnages de synthèse n'est pas lié au fait qu'ils ne sont pas assez réalistes, mais plutôt au fait que le degré de réalisme qui a été atteint n'est pas uniforme à travers les traits du personnage. Et puisque nous semblons plus critiques ou sensibles à ce phénomène quand le personnage est mimétique, la moindre disparité ou discordance est détectée et cause un *shinwakan* négatif.

Pour les animateurs, il est frustrant de noter qu'il n'y a pas de consensus actuellement quant à l'effet du mouvement sur l'étrangeté. Initialement, Mori (2012 [1970]-b, p. 99) propose que le mouvement amplifie l'effet d'étrangeté (voir ligne pointillée à la fig. 6.18). Par conséquent, une entité étrange sera encore plus inquiétante si elle bouge. Laja Uggah et Manaf (2015) et Dill *et al.* (2012) confirment cette hypothèse, mais Piwek *et al.* (2014) démontrent qu'un mouvement réaliste diminue l'étrangeté d'une entité plutôt que de l'exacerber. Ces résultats contradictoires peuvent être expliqués par la disparité perceptuelle qui, selon nous, s'applique au mouvement autant qu'à la forme. Si ce sont véritablement les disparités qui sont inquiétantes, il est raisonnable de penser que les mouvements et le comportement d'une entité doivent concorder avec nos attentes. Dans ce sens, un zombie qui bouge normalement serait moins étrange qu'un zombie qui marche d'un pas pesant ou beaucoup trop rapide. Saygin *et al.* (2012) corroborent cette hypothèse en découvrant qu'une entité qui a l'air d'un humain, mais qui ne bouge pas de façon biologique, provoque l'étrangeté.

Puisque la perception est un processus holistique, il serait logique de proposer que d'autres types de disparité aient le même effet. Il semble que ce soit le cas au niveau vocal, car un décalage entre l'apparence d'un personnage et sa voix accentue l'étrangeté d'une entité (Mitchell *et al.*, 2011, p. 11). Le degré de familiarité avec l'entité contribue aussi au phénomène. Zajonc (1968), cité par Zlotowski *et al.* (2015, p. 3), démontre que plus nous sommes exposés à un stimulus neutre, plus nous l'aimons. En fait, l'intensité de notre réaction, qu'elle soit positive ou négative, diminue plus nous sommes familiers avec une chose. Ce phénomène, appelé l'accommodation affective[48], fait en sorte qu'une entité qui nous plait énormément sur le coup, nous plaira moins avec le temps. À l'inverse, l'étrangeté initiale que nous ressentons envers un robot diminue plus nous sommes en contact avec lui (Dijksterhuis et Smith, 2002). L'attitude ou la personnalité de l'entité joue également un rôle majeur dans l'effet qu'elle produit, car un robot qui manifeste un comportement positif est perçu comme moins étrange qu'un robot ayant un comportement négatif[49] (Zlotowski *et al.*, 2015). Nous avons pu observer l'effet de l'accommodation affective sur nos propres impressions en regardant la série animée *Star Wars : The Clone Wars* (Lucas et Silver, 2008-2012). Initialement, les personnages nous semblaient étranges, car leurs visages étaient trop angulaires, les textures manquaient de détails et les yeux globuleux nous paraissaient insectoïdes. Toutefois, l'effet négatif disparut progressivement ; plus nous visionnions des épisodes, plus nous avons appris à aimer les personnages et nous nous sommes habitués à leur apparence. Les personnages de *Ready Player One* (Spielberg, 2018) ont eu le même effet, mais le *shinwakan* négatif s'est dissipé beaucoup plus rapidement durant la première demi-heure du film. Puisque le récit alterne entre un monde virtuel et la réalité, il se peut que l'effet d'étrangeté ait été atténué par le fait que nous savons que les personnages de synthèse ne sont pas censés représenter pas de vraies personnes, mais sont les avatars numériques des personnages en PVR[50]. Si notre hypothèse est correcte et nous jugeons l'avatar différemment d'un personnage réel, nous aurions un autre exemple concret de l'existence d'une catégorique unique pour l'animéidé.

Quoique convaincant, le schéma de Mori est problématique, car le fait de placer toutes les entités sur le même continuum implique qu'il s'agit d'un seul phénomène. Nous avons pourtant démontré que le *shinwakan* est un sentiment pluridimensionnel complexe qui semble décrire un ensemble de phénomènes

[48] L'accommodation affective est notre traduction du concept qui se nomme *affective habilitation*, en anglais.

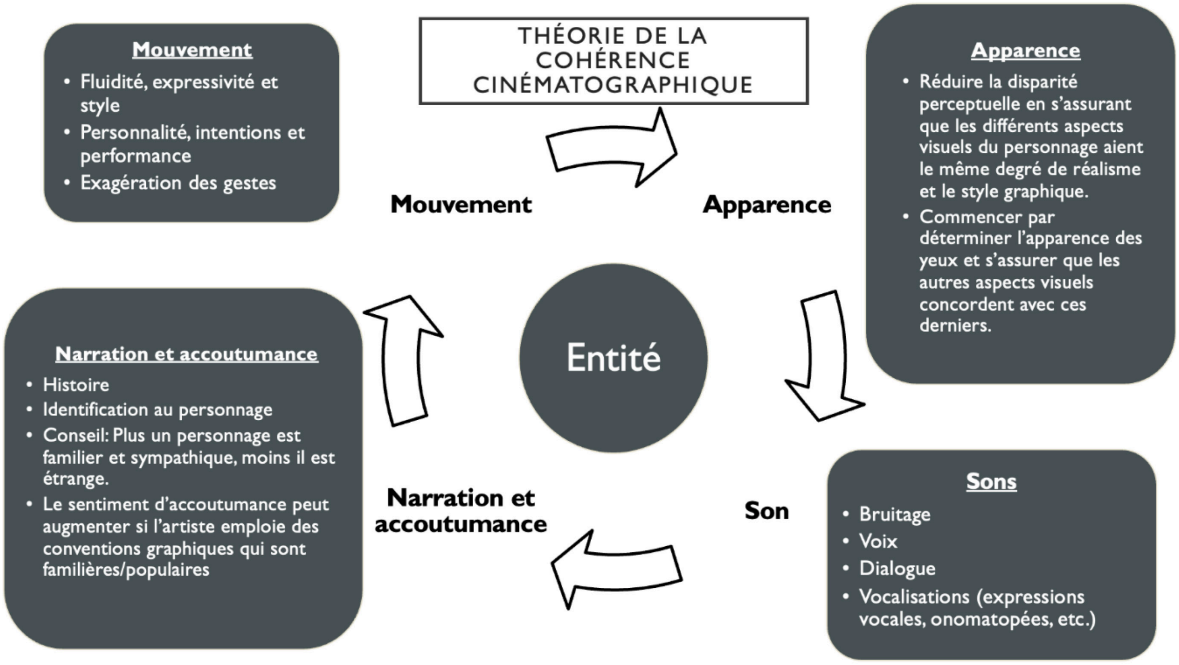
[49] Il est donc concevable que l'étrangeté disparaisse dans un futur rapproché où les robots « sympathiques » seront de plus en plus présents dans notre quotidien.

[50] Évidemment, d'autres facteurs, (p. ex. meilleure technologie, plus de budget, scénario, charisme des personnages, etc.), peuvent expliquer la diminution du *shinwakan* dans *Ready Player One*.

qui sont similaires, mais qui varient dans leurs causes. Conséquemment, l'hypothèse de la morbidité peut expliquer la peur des zombies et des morts-vivants, alors que la théorie de la disparité perceptuelle peut expliquer l'étrangeté des robots et personnages 3 D. De plus, il est probable que la vallée de l'étrangeté, comme les autres phénomènes perceptuels décrits dans cette thèse, ne suit pas une trajectoire linéaire et progressive, comme le suggère la belle courbe de la vallée, mais est plutôt un jugement émotionnel binaire. C'est-à-dire soit : 1) un personnage ne fonctionne pas et est considéré étrange ou 2) le personnage fonctionne et est accepté par le spectateur. En se basant sur nos propres expériences professionnelles et sur la théorie de la disparité perceptuelle, il est possible de formuler les conseils suivants. Pour éviter de chuter dans la vallée de l'étrangeté par inadvertance, il faut éviter les discordances et incohérences perceptuelles et scénaristiques. Nous nommons cette stratégie la technique de la cohérence cinématographique, car elle s'applique à tous les éléments du film. Représentée à la figure 6.19, cette approche holistique stipule d'abord que tous les aspects et traits visuels d'un personnage soient cohérents les uns avec les autres. Par conséquent, si les yeux sont réalistes, il faut que les autres traits (p. ex. la bouche, le nez, la texture de la peau, les cheveux[51], etc.) le soient aussi. S'ils sont plus exagérés ou cartoonesques, les autres aspects physionomiques doivent miroiter ce style. De la même manière qu'un portrait est souvent amorcé en dessinant les yeux, nous suggérons à l'artiste numérique d'établir le style et le degré de réalisme des yeux en premier, car ces derniers serviront de point de référence pour le reste du visage.

[51] Curieusement, les cheveux semblent être extrêmement importants, car Laja Uggah et Manaf (2015) notent que ce sont les cheveux et les expressions faciales qui déterminent le degré de familiarité que nous ressentons par rapport à un personnage de synthèse.

Figure 6.19 : Théorie de la cohérence cinématographique



La figure a été réalisée par l'auteur.

Bien que nous n'ayons décrit que le rôle du son et de l'histoire dans le tableau, notre deuxième conseil est de considérer comment tous les éléments cinématographiques fonctionnent ensemble. Il est donc important de ne pas négliger l'effet de l'accoutumance sur l'étrangeté. Si une artiste et l'équipe de production ont l'habitude de travailler avec les personnages de synthèse, elles seront progressivement désensibilisées à leur étrangeté potentielle. Il est donc extrêmement important de prendre du recul par rapport à ces derniers pour pouvoir les évaluer objectivement. Ce conseil semble simple et évident, mais il mérite d'être souligné, car les tâches requises pour produire un film d'animation commercial sont souvent spécialisées et minutieuses et il est facile de perdre de vue l'effet final produit par un personnage. En fait, ce conseil s'applique à toute activité artistique, car même un artiste travaillant de manière traditionnelle peut passer trop de temps à peaufiner un détail et oublier de regarder son dessin dans son ensemble. Se peut-il que la disparité perceptuelle soit en partie causée par la nature hétérogène du cinéma d'animation commercial ? Bien que nous ne saurions répondre à cette question de manière définitive, nous croyons que l'effet de l'accoutumance affective, combiné à la nature hétérogène de la production numérique, augmente le risque de produire des personnages qui chutent dans la vallée de l'étrangeté. Le dernier conseil qui ressort de cette discussion est de ne pas oublier que l'animation et les arts ne sont pas un calque de la réalité, mais sont plutôt une représentation caricaturale de celle-ci. Par

conséquent, une façon d'éviter la vallée de l'étrangeté est d'abandonner le photoréalisme pour l'hyperréalisme.

Maintenant que nous avons établi quels facteurs différencient l'animé de l'inanimé et comment l'animateur peut exagérer certaines caractéristiques visuelles, il est temps d'examiner comment l'exagération se manifeste dans les autres principes d'animation. En utilisant la façon dont les lois de la physique sont perçues et appliquées en animation, nous développerons au prochain chapitre une théorie générale qui pourra aider à faire le pont entre les sciences visuelles et l'art de l'animation.

CHAPITRE 7

Le monde animé

En dépit du fait que la perception est un processus modulaire complexe qui mobilise de multiples procédés hétéroclites, les animateurs de Disney ont réussi à identifier deux principes perceptuels qui influencent l'ensemble de l'expérience cinématographique. Il s'agit de l'exagération (principe d'animation n° 10) et de l'attention sélective, qui est au cœur du *staging* (principe d'animation n° 3). Tel que discuté au dernier chapitre, l'exagération de la forme animée peut amplifier, pour le meilleur ou pour le pire, la saillance de certains effets perceptuels. L'emploi de l'exagération n'est toutefois pas limité à l'apparence caricaturale, à la néoténie et aux stimuli supranormaux, car nous croyons qu'elle est un catalyseur perceptuel qui amplifie l'effet de la plupart des autres principes d'animation. Le caricaturiste Tom Richmond (2011, p. 11) et Mike Wiesmeier (communication personnelle, 5 mars 2022), un ex-animateur de Disney, comparent la caricature ainsi que le principe de l'exagération à la molette de réglage de volume sur une chaîne stéréo. Nous sommes du même avis et proposons que l'animatrice, comme une chef d'orchestre, puisse régler de manière holistique l'intensité des différents instruments perceptuels à sa disposition en augmentant ou en diminuant le degré d'exagération appliqué à l'ensemble des éléments constituant une scène animée. Par conséquent, qu'il s'agisse de la qualité d'un mouvement apparent, du *shinwakan* d'un personnage de synthèse, ou de l'expressivité d'une performance animée, l'ensemble des différents éléments à l'écran, dont les 12 principes, constitue un tout holistique qui est soit accepté par le système perceptuel ou ne l'est pas. Pour éviter de créer une disparité perceptuelle qui briserait l'harmonie visuelle (voir chap. 6), il est ainsi plus simple et préférable de régler l'intensité des principes d'animation comme une unité, plutôt que d'essayer de les ajuster individuellement.

En dépit du fait que la molette du volume illustre élégamment comment les principes d'animation peuvent être ajustés de manière holistique, l'analogie ne nous aide pas à déterminer quel degré d'exagération doit être appliqué pour qu'une animation fonctionne. De plus, il n'est pas suffisant de capter l'attention grâce à des stimuli exagérés. Il faut la maintenir et s'assurer que le public perçoit clairement les informations que la réalisatrice souhaite communiquer. Alors que l'exagération est un catalyseur, le *staging* est un canalisateur visuel qui aide à disposer les éléments de la mise en scène de façon à ce que l'attention du public soit dirigée et maintenue là où il le faut. Ce chapitre examine comment l'exagération et la mise en scène peuvent être ajustées pour influencer les autres principes de manière à créer des mouvements, des actions, des scènes et des univers animés que le public percevra comme étant

intéressants et crédibles. Nous commencerons par identifier et décrire les facteurs qui peuvent être employés pour déterminer le degré d'exagération requis afin qu'une animation fonctionne. Deux modèles serviront à illustrer nos postulats : la molette de l'exagération et la pyramide de l'exagération. Puisque l'effet de l'exagération est perdu si l'attention du spectateur est portée ailleurs, il sera question du principe du *staging*, car les concepts et phénomènes perceptuels qui y sont associés permettent à l'animatrice de maintenir l'intérêt et de communiquer ses intentions cinématographiques clairement. Étant donné que l'amplitude des principes est déterminée par l'environnement autant qu'elle repose sur l'apparence des personnages, nous examinerons comment les forces de la physique (p. ex. la gravité) sont représentées en animation. Plus particulièrement, sont-elles réalistes ou cartoonesques ? Pour être en mesure de répondre à cette question, il faut d'abord décrire les trois axiomes du mouvement de Newton. Ce survol permettra d'expliquer les notions qui sont au cœur des principes d'animation suivants : *follow through and overlapping action* (n° 5) et *anticipation* (n° 2). Bien qu'ils aient été décrits à des chapitres précédents, nous reviendrons également aux principes du *slow in and slow out* (n° 6), des *arcs* (n° 7) et du *timing* (n° 9), car ces derniers, en plus de jouer un rôle déterminant dans la fluidité du mouvement apparent, décrivent des techniques qui servent à représenter des phénomènes physiques fondamentaux. Nous décrirons la cape de la crédibilité, une théorie que nous avons formulée pour aider l'animatrice à déterminer quels phénomènes physiques peuvent être exagérés et quelles forces doivent rester réalistes. Nous conclurons ce chapitre en présentant les théories de l'*Umwelt* animé et des piliers invisibles de l'animation, car celles-ci peuvent être employées pour consolider implicitement et explicitement la crédibilité des mondes cinématographiques.

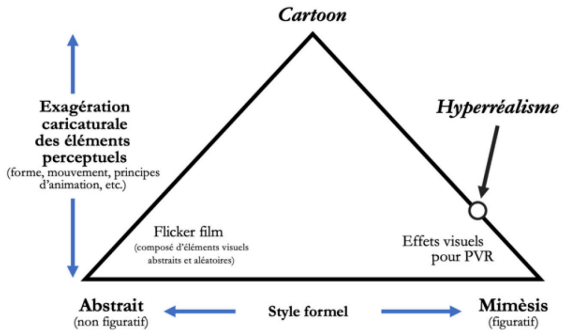
7.1 Le degré de l'exagération

Le degré de réalisme d'une animation dépend de plusieurs facteurs interdépendants, dont le réalisme du style graphique et le genre cinématographique[1]. Le rapport entre les deux est relativement simple et facile à démontrer. Plus un film repose sur une esthétique figurative qui imite la réalité, moins il est nécessaire d'employer l'exagération comme catalyseur perceptuel. À l'inverse, moins un film est mimétique, plus l'animatrice peut se permettre d'amplifier les aspects perceptuels pour accroître la saillance de l'expérience filmique. C'est souvent le genre cinématographique qui détermine le degré de réalisme et donc la quantité d'exagération idéale à employer. Par exemple, puisque les effets visuels animés qui sont

[1] Il faut noter que la réalisatrice détermine aussi le degré de réalisme ou d'exagération perceptuelle. Nous considérons toutefois que les intentions des créatrices (animatrices, réalisatrices, productrices, etc.), quoique déterminantes, dépendent en grande partie du genre cinématographique.

destinés aux films en PVR doivent être vraisemblables et respecter les lois de la physique, il est logique de présumer que l'animatrice s'abstiendra d'amplifier les aspects perceptuels, dont les principes d'animation. Il en va de même pour une œuvre abstraite et non figurative comme un *flicker film* (voir chap. 4), car les éléments visuels (couleurs, formes géométriques, lignes, égratignures, etc.) qui apparaissent rapidement à l'écran créent une expérience esthétique se déroulant dans un espace filmique abstrait. Bien qu'il soit possible d'augmenter la saillance des éléments visuels (p. ex. saturation des couleurs, étirement des formes, etc.) et d'exagérer la différence visuelle entre chaque photogramme du film, nous croyons que le rôle joué par les principes d'animation et leur exagération demeure relativement minime dans les films expérimentaux et non figuratifs. Traditionnellement, le *cartoon* est le genre cinématographique qui exploite pleinement le pouvoir de l'exagération comme catalyseur perceptuel, car l'animatrice accroît l'intensité des principes au point où ils deviennent des versions caricaturales d'eux-mêmes. Dans un dessin animé réalisé par Tex Avery à MGM (p. ex. *Blitz Wolf* [1943]) ou dans un film produit par le studio Illumination (p. ex. *Despicable Me*), les corps caricaturaux des personnages sont étirés et compressés à outrance. Les gestes, les mouvements, les réactions et expressions faciales sont extrêmes et dramatiques.

Figure 7.1 : Pyramide de l'exagération (simple)



La figure a été produite par l'auteur qui s'inspire de la pyramide de McCloud (1994, p. 52-53) décrite au chapitre 6.

De surcroît, dans les dessins animés réalisés par Chuck Jones, mettant en vedette le Road Runner ou Wile E. Coyote, les lois de la physique semblent être interprétées librement pour générer des effets humoristiques aux dépens des personnages. L'animatrice doit ainsi trouver un équilibre entre créer des sensations convaincantes et expressives qui accentuent l'expérience perceptuelle, mais ne minent pas l'illusion de la crédibilité. Puisque la forme et le mouvement sont généralement interdépendants et que l'exagération est traditionnellement associée en animation au *cartoon* caricatural, nous proposons qu'il soit possible de catégoriser le degré d'exagération employé dans un film animé à l'aide d'un schéma que nous avons conçu et nommé la pyramide de l'exagération (voir figure 7.1). L'unité de mesure sur l'axe horizontal (x) est celle proposée par Furniss, qui situe les films sur un continuum allant de l'abstraction à la mimèsis[2] (voir chap. 1). Donc plus une œuvre est abstraite (p. ex. un *flicker film* reposant sur des formes simples et non figuratives),

[2] Tel que discuté au dernier chapitre, nous préférons employer le terme « mimèsis » plutôt que « réalisme », car les représentations artistiques ne sont pas calquées sur la réalité, mais l'imitent en accentuant certaines de ses caractéristiques.

plus elle se situe à gauche de la pyramide. En contrepartie, plus l'art est figuratif et l'apparence des personnages hyperréaliste, plus le film est mimétique et se situe à droite de la pyramide. Puisque la perception est holistique et que l'exagération est un catalyseur perceptuel, l'axe vertical (y) représente le degré d'exagération global du film. Bien que cette valeur mesure principalement l'amplification caricaturale de la forme et des mouvements, l'exagération peut aussi affecter la plupart des éléments cinématographiques, dont la mise en scène, l'histoire, et le montage. Évidemment, il est impossible de quantifier objectivement une valeur qui regroupe autant de facteurs hétérogènes. Nous suggérons cependant que son effet peut être ressenti à un niveau subjectif. Il faut noter que l'hyperréalisme ne se situe pas au pied droit de la pyramide, car, comme discuté au chapitre dernier, même les animations cherchant à imiter la réalité usent de la caricature pour amplifier les caractéristiques saillantes et minimiser les éléments visuels secondaires. Par conséquent, il n'est pas suffisant pour une animation dite photoréaliste de calquer la réalité. Elle doit être hyperréelle pour être intéressante. La pyramide de l'exagération représente une contribution importante en animation, car elle est le premier modèle de classification qui combine le degré de mimèsis graphique de la forme avec le degré de mimèsis ou d'exagération du mouvement. Il est aussi important d'un point de vue pratique et pédagogique de créer une métaphore simple capable de représenter le rapport holistique entre le style d'une animation et le degré d'exagération appliqué sur l'ensemble des phénomènes perceptifs et cinématographiques dans un film animé. Nous avons formulé la molette de l'exagération.

Figure 7.2 : Molette de l'exagération

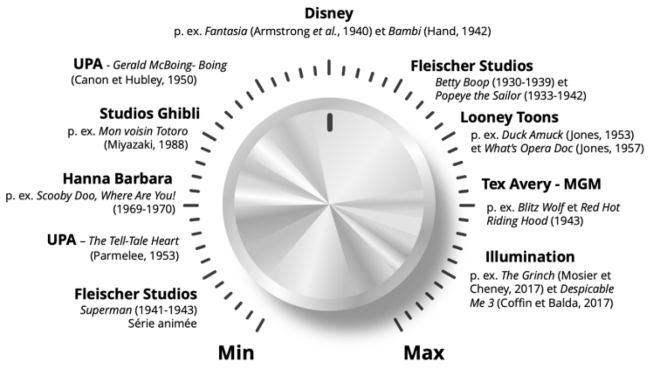


Figure créée par l'auteur.

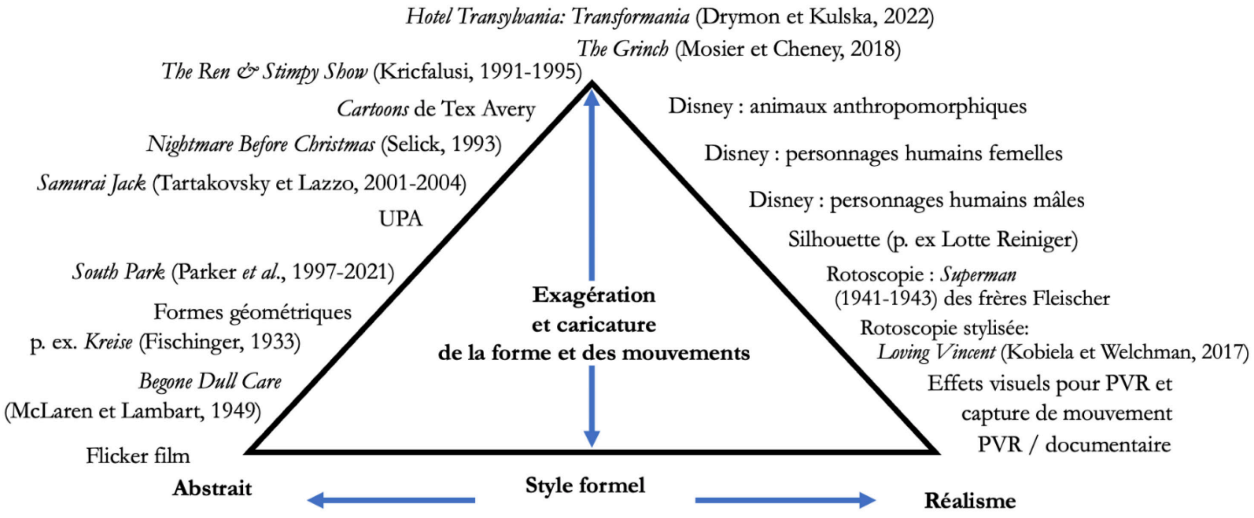
Nous proposons que certaines combinaisons perceptuelles fonctionnent si bien qu'elles ont mené au développement des styles que nous associons aux grands studios d'animation. Reprenant l'idée que l'exagération opère comme la molette d'une chaîne stéréo réglant l'intensité des autres principes d'animation, nous avons placé les studios d'animation sur ce que nous appelons la « molette de l'exagération » (figure 7.2). Les films classiques de Disney se situent au milieu de la molette, car ils représentent un équilibre entre l'expressivité et l'hyperréalisme. Puisque l'hyperréalisme de Disney, décrit au dernier chapitre comme une impression caricaturale de la réalité (Canemaker, 1977,

p. 54), vise à créer l'illusion de la vie, l'exagération des principes est moins forte que celle employée dans les *cartoons* de Tex Avery, qui, à leur tour, sont moins exagérés que les longs-métrages produits par le studio Illumination. Il faut noter que la valeur assignée à chaque studio est approximative et subjective, car elle est basée sur notre évaluation des films pour lesquels la compagnie est majoritairement connue. Le degré d'exagération peut ainsi varier d'un film à un autre. Pour illustrer ce point, deux séries animées produites par le studio des frères Fleischer sont incluses dans le schéma. Les dessins animés qui mettent en vedette Betty Boop ou Koko le Clown sont ainsi beaucoup plus exagérés que les courts-métrages de la série animée de *Superman* (Fleischer, M. *et al.*, 1941-1943), car, même si ces derniers se déroulent dans l'univers exagéré des superhéros, les personnages et les actions sont animés à l'aide de la rotoscopie[3] pour donner au film un style plus réaliste. Par conséquent, l'usage des principes d'animation est restreint lorsque comparé aux autres productions. Deux films produits par UPA (United Productions of America) ont aussi été placés autour de la molette, car le studio est éclectique. *The Tell-Tale Heart* (Parmelee, 1953) est ainsi produit dans un style plus mimétique que celui de *Gerald McBoing-Boing* (Cannon et Hubley, 1950), qui couple l'exagération cartoonesque à un design graphique sophistiqué. Cette différence ne signifie cependant pas que les animateurs n'ont pas su profiter de la force perceptuelle de l'exagération dans *The Tell-Tale Heart*. Au contraire, même si l'exagération ne se manifeste pas à travers les mouvements, la psychopathologie du personnage principal est montrée habilement à l'aide d'une mise en scène expressionniste prononcée. En plus d'illustrer l'importance perceptuelle du *staging*, traitée à la prochaine section, l'emploi de l'exagération dans *The Tell-Tale Heart* démontre que celle-ci n'est pas nécessairement caricaturale dans le sens du *cartoon*. Plus les caractéristiques la rendant unique sont amplifiées, plus il est possible de considérer cette expression artistique comme étant exagérée. Dans ce sens, l'exagération dans *The Tell-Tale Heart* peut être décrite comme une forme de surréalisme que nous qualifions de psychométaphorique. Puisque le type d'exagération déployé dans ce film est d'une nature graphique et n'affecte pas vraiment les principes d'animation relatant du mouvement – dont l'anticipation et la compression et l'étirement –, le film n'est pas aussi « exagéré » que les autres productions incluses dans le schéma.

[3] Inventée par Max Fleischer, la rotoscopie est une technique d'animation qui permet à un animateur de reproduire les actions d'un comédien réel en traçant image par image (sur papier ou de manière numérique) chaque photogramme d'une action filmée (Konigsberg, 1997, p. 338). Bien que son invention soit associée à la création du personnage Koko le Clown en 1917 par Fleischer, l'historien Ray Pointer (2017, p. 26) précise que le développement du procédé a requis au moins trois expériences menées sur deux ans. Par conséquent, bien que Fleischer invente le rotoscope en 1915 (Fleischer Studios, 2015), le brevet n'est obtenu qu'en 1917 (Pointer, 2017, p. 26). Les systèmes de capture de mouvement ont remplacé la rotoscopie comme technique pour reproduire des mouvements réalistes en animation.

L'emplacement des films autour de la molette soulève néanmoins la question du rapport entre la forme et le mouvement. Bien qu'il soit possible en animation de mettre en scène des personnages aux attributs incroyables défiant nos prévisions perceptuelles (voir chap. 6), la forme de l'un d'entre eux, réel ou animé, détermine généralement le type de mouvement qu'il pourra effectuer[4]. Par conséquent, nous nous attendons à ce que le corps d'un « animéidé » protoplasmique puisse être étiré bien au-delà des limites d'un corps réel, effectuer des mouvements surprenants (p. ex. sauter plus haut) et soit quasi indestructible (voir chap. 6). Inversement, nous nous attendons à ce que les mouvements d'un personnage mimétique soient tout aussi réalistes que son apparence le suggère. Pour mieux représenter la diversité des styles animés, nous avons inclus plus d'exemples de films à la figure 7.3, qui a été réalisée par l'auteur.

Figure 7.3 : Pyramide de l'exagération



Puisque l'exagération est un ingrédient essentiel à toute forme artistique, nous croyons qu'il faut toujours en maintenir une certaine quantité, même lorsque le style visuel et les personnages sont mimétiques. Ceci est corroboré par le fait qu'un mouvement animé qui ne fait que calquer un vrai mouvement semble artificiel, rigide, et manque de vivacité. C'est notamment une des critiques faites à l'égard du long-métrage *The Lord of the Rings* (Bakshi, 1978), animé à l'aide de la rotoscopie. Nous croyons que c'est aussi le problème de l'animation de certains personnages de synthèse, dont ceux figurant dans *Beowulf* et de *Hulk*

[4] Dans la réalité, par exemple, un personnage obèse ne pourra pas nécessairement effectuer des sauts périlleux arrière, alors qu'une version animée de ce dernier pourra se déplacer avec la grâce d'une ballerine et la flexibilité d'un gymnaste olympique. Bien que ce conflit entre la forme et le mouvement puisse surprendre, nous avons démontré aux chapitres 2 et 6 que le mouvement l'emporte généralement sur la forme. Par exemple, même s'il paraît improbable qu'un homme obèse puisse faire un salto alto, s'il défie nos prévisions en l'effectuant sous nos yeux, nous considérerons que nous avons mal jugé sa masse et qu'il nous faut réévaluer nos préjugés envers les personnes corpulentes. L'illusion de la crédibilité peut toutefois être minée ou même brisée si certaines règles fondamentales de la physique ne sont pas respectées. Nous reviendrons à ce point important lorsqu'il sera question de la physique.

(2003), qui a été incarné par Ang Lee, le réalisateur du film. L'habileté d'acteurs tel Andy Serkis à offrir des performances expressives et convaincantes [5], qui sont utilisées pour animer différents types de personnages de synthèse, démontre qu'une prestation, qu'elle soit animée ou en PVR, est une interprétation dramatique et amplifiée du comportement réel. Pour illustrer l'importance de l'exagération dans une animation mimétique, nous avons inclus trois exemples de films employant la capture de mouvement sur la pyramide. Bien que *A Scanner Darkly* (Linklater, 2006) contienne de nombreux éléments surréalistes, le film est, selon nous, le plus mimétique et le moins exagéré des trois, car l'animation a seulement été employée comme filtre visuel pour habiller des scènes tournées en PVR. De plus, le procédé numérique est plutôt distrayant et n'enrichit pas l'expérience cinématographique, car toutes les caractéristiques visuelles (p. ex. la ligne de contour, l'ombre, la saturation chromatique, etc.) sont également amplifiées sans que les aspects secondaires soient minimisés. La rotoscopie transforme ainsi un mouvement réel en un mouvement animé sans nécessairement l'exagérer ou l'adapter au nouveau médium ou au personnage auquel il sera transposé. Il se peut donc que des facettes du mouvement initial, qu'une animatrice n'aurait jamais représenté si elle produisait l'animation sans l'aide de la capture de mouvement, soient non seulement préservées dans la transposition animée, mais soient aussi exagérées. En contrepartie, il se peut également que le système de capture ne détecte pas certaines subtilités qui aident le système visuel à catégoriser la personne en mouvement comme une entité biologique à notre image. *A Scanner Darkly* représente ainsi l'épitome des problèmes causés par un procédé numérique apposé sans discrimination sélective, car ce dernier peut entrainer une distorsion perceptuelle qui est non seulement contre le principe de la caricature (Richmond, 2011, p. 10 et 11), mais augmente aussi les chances de créer une disparité perceptuelle, provoquant un *shinwakan* négatif (voir chap. 6). Il faut aussi rappeler que le risque de créer une disparité perceptuelle diminue quand il y a peu d'éléments visuels simples à harmoniser. À l'inverse, le système perceptuel est davantage sensible à la moindre dysharmonie visuelle lorsque le personnage est mimétique. En effet, il est difficile pour l'artiste de savoir quels traits et détails sont importants pour le système visuel et quels éléments peuvent être éliminés. Par conséquent, les figures géométriques de Heider et Simmel deviennent instantanément des entités animées complexes, alors que les personnages plus réalistes, mais dissonants, de *A Scanner Darkly* semblent étranges. *Loving Vincent* (Kobiela et Welchman, 2017) est plus exagéré que le film de Linklater, car des animateurs ont repeint des images en PVR pour recréer des plans qui ressemblent à des tableaux de Van Gogh. Alors que

[5] Les performances vocales et physiques de l'acteur, producteur et réalisateur britannique Andy Serkis ont été employées pour donner vie à Gollum, dans *The Lord of the Rings* (Jackson, P., 2001, 2002, 2003), King Kong, dans le film éponyme (Jackson, P., 2005), César dans le *remake* de la série *Planet of the Apes* (Reeves, 2014, 2017; Wyatt, 2011) et Baloo dans *Mowgli : Legend of the Jungle* (Serkis, 2018).

A Scanner Darkly et *Loving Vincent* sont des films en PVR qui utilisent l'animation comme un habillage visuel, les courts-métrages de *Superman*, dont il a déjà été question (fig. 7.3), sont des animations qui utilisent les PVR et la rotoscopie pour rehausser le réalisme des mouvements. De plus, le type d'histoire et la nature des pouvoirs de Superman font en sorte que les films sont marqués par une exagération généralisée (angles de caméra extrêmes, couleurs saturées, réactions dramatiques, etc.). Par conséquent, des trois films employant une forme de rotoscopie, *Superman* est le plus exagéré. Nous reviendrons au rôle de la mise en scène à la prochaine section, car elle aide à focaliser l'attention du public. Encore une fois, la position des films sur la pyramide n'est pas définitive et peut être débattue parce que la quantité d'exagération perceptuelle est une mesure subjective et hétérogène. Il est notamment possible d'inverser la position de *The Ren & Stimpy Show* (Kricfalusi, 1991-1995) avec celle occupée par les films de Tex Avery produits à la MGM sur la pyramide, dans la mesure où l'animation limitée de *Ren & Stimpy* repose sur une exagération démesurée des poses, alors qu'Avery exagère l'ensemble des principes.

Bien que nous encouragions une approche holistique axée sur l'amplification de l'ensemble des éléments, l'exagération peut varier selon le rang ou le taxum du personnage (voir chap. 6). Dans *Snow White and the Seven Dwarfs*, par exemple, les animaux de la forêt qui s'attroupent autour de la princesse sont plus mimétiques et moins cartoonesques que les sept nains. Entre ces deux catégories (animaux et « animéidés » protoplasmiques) se situent les personnages humanoïdes, dont Blanche Neige qui est plus expressive que le Prince, mais moins exagérée que la Reine-sorcière. Il faut finalement noter que l'environnement joue également un rôle déterminant dans la quantité de réalisme ou d'exagération employée. Dans *Alice in Wonderland* (Geronimi *et al.*, 1951), par exemple, il existe deux mondes distincts. Le film commence dans le monde « réel » gouverné par une physique newtonienne. Par contre, lorsqu'Alice suit le Lapin dans sa tanière, elle plonge dans un monde fantastique, surréaliste et caricatural. Les différents degrés d'exagération des mondes et des personnages sont

Figure 7.4 : Exagération dans Alice in Wonderland (1951)

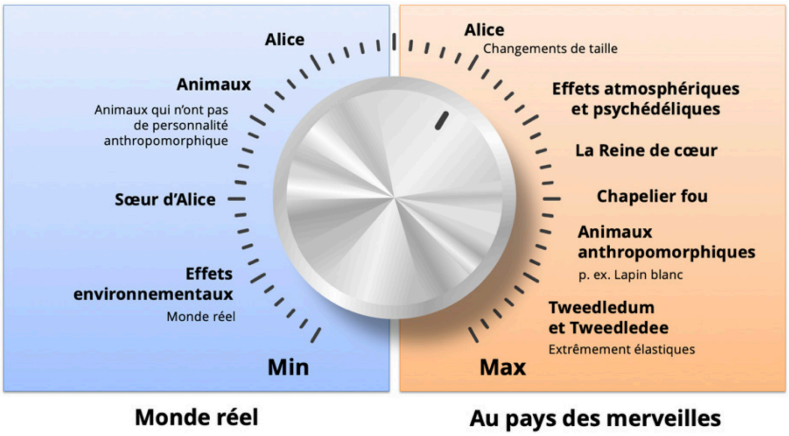


Figure créée par l'auteur.

représentés à la figure 7.4. L'environnement influence le degré de réalisme et d'exagération employé par les animateurs dans *Alice in Wonderland*. Les personnages sont ainsi plus cartoonesques et caricaturaux au pays des merveilles qu'ils le sont dans le monde réel.

Bien que les schémas présentés dans ce chapitre soient approximatifs, nous croyons qu'ils fournissent à l'animatrice et à la théoricienne un système de classification utile, car ils tiennent compte des éléments perceptuels essentiels, dont le mouvement, la forme et l'exagération, qui ne sont pas inclus dans le continuum de Furniss. Il est aussi facile d'oublier que l'environnement est un des principaux facteurs évolutifs ayant façonné la perception, parce que notre attention est généralement centrée sur les personnages. Avant d'examiner le rôle de l'environnement et de la physique en animation, il est important de décrire le principe du s*taging*, parce qu'il permet à l'animatrice d'attirer, de contrôler et de maintenir l'attention du spectateur. Si l'exagération est la molette qui règle le volume des principes d'animation, le *staging* permet à l'animatrice de changer le poste de radio tout en étouffant les bruits distrayants qui nous empêchent d'entendre la musique.

7.2 Le *staging*

Tel que mentionné au chapitre 1, le *staging* (principe d'animation n^{o} 3) stipule que l'animatrice doit utiliser tous les éléments à sa disposition pour exprimer son intention narrative (*story point*, en anglais) aussi clairement que possible (Thomas et Johnston, 1981, p. 53). Le principe du *staging* ne se limite donc pas aux mouvements animés, mais est apparenté aux notions cinématographiques et théâtrales de la mise en scène, dont l'angle de la caméra, la performance des personnages, la trame sonore, le bruitage, l'ordre et la chorégraphie des actions, la durée des poses, la composition formelle du cadrage, la position des éléments dans l'espace et le montage. En dépit du fait que le s*taging* influence de multiples phénomènes qui ne sont pas abordés dans cette thèse (p. ex. le son), il repose sur un seul principe perceptuel, celui de l'attention, car tous ces éléments et bien d'autres doivent attirer, focaliser et maintenir l'attention du public sur l'information que la réalisatrice veut transmettre. En fait, Carroll et Seeley (2013) soutiennent que le cinéma de manière générale peut être conçu comme un engin de contrôle perceptuel. D'après ces derniers : « […] movies can be thought of as attentional management devices, tools intentionally designed to direct a viewer's attention to their artistically salient perceptual features, perceptible features responsible for their affective, depictive, narrative, and semantic content » (p. 58). Par conséquent, bien que le *staging* ait été formulé par des animateurs, les conseils qu'il dispense s'appliquent également aux

films en PVR[6]. Thomas et Johnston émettent deux recommandations dans *The Illusion of Life* (1981) pour s'assurer que le *staging,* et donc le *story point*, soit explicite, peu importe la technique du film. Premièrement, les actions doivent être présentées en silhouette et, en deuxième lieu, il ne faut pas montrer plus d'une action importante à la fois (Thomas et Johnston, 1981, p. 56). Puisque l'emploi de la silhouette a déjà été décrit au chapitre 2 et illustré à la figure 2.12

, nous pouvons examiner les notions perceptuelles associées au deuxième conseil et nous attaquer au principe de l'attention perceptuelle.

7.2.1 L'attention

Puisque nous sommes incapables de traiter tous les stimuli auxquels nous sommes exposés, le système nerveux a développé des mécanismes capables de déterminer quelles sensations peuvent être ignorées et quelles informations doivent être traitées. Nous employons communément le terme « attention » pour décrire les processus qui nous permettent de nous concentrer sur une tâche en restreignant et en biaisant l'allocation de ressources mentales. Mais il existe différentes formes d'attention (Colman, 2015, p. 62; Wolfe *et al.*, 2019, p. 209). Étant donné que le principe du *staging* relève de la perception, nous nous intéresserons à l'attention dite sélective, car celle-ci décrit les mécanismes de filtrage sensoriel (Wood *et al.*, 2009b, p. 107). Wolfe *et al.* (2019, p. 213) notent que plusieurs théories cherchent à expliquer comment l'attention sélective opère et comment elle est transférée d'une chose à une autre. D'après Eriksen et Yeh (1985), l'attention fonctionne comme un opérateur de prises de vues : il filme un détail dans l'environnement avec un téléobjectif, dézoome pour nous offrir une vue d'ensemble et zoome sur le prochain élément qui doit attirer notre attention. Une autre hypothèse propose que l'attention ne se déplace pas comme une caméra, mais disparaît et réapparaît ailleurs (Sperling et Weichselgartner, 1995). Francis Crick (1984) compare l'attention perceptuelle à un projecteur qui illumine une certaine zone du champ visuel. Crick s'empresse toutefois de noter que la concentration de l'attention, qu'il nomme *the spotlight effect*, ne masque pas le reste du champ visuel, mais ne fait qu'accentuer la partie saillante de celui-ci (p. 4586). Il est ainsi possible de voir ce qui se déroule à l'extérieur de ce que nous scrutons. De surcroît, Wolfe *et al.* (2011) proposent que la conscience visuelle de notre environnement soit alimentée par deux voies. La première voie utilise une forme d'attention sélective qui, comme le projecteur de Crick, illumine la section du champ visuel qui nous intéresse. La seconde voie est non sélective et gère le contenu

[6] Hugo Münsterberg semble être le premier chercheur à décrire le rôle capital joué par l'attention au cinéma. Un chapitre de *The Photoplay* (2002 [1916]) est ainsi consacré à l'attention visuelle (p. 79-88).

du reste du champ visuel. Même si de nombreuses théories ont été formulées pour expliquer comment l'attention opère, un examen des saccades permet de déterminer quels types de stimuli ou repères visuels captent notre attention.

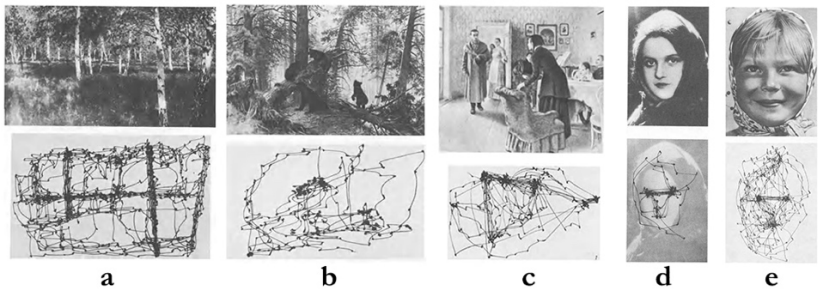
7.2.2 Les saccades

Comme il a été décrit au chapitre 2, la vision fovéale est extrêmement limitée et seule une petite partie du champ visuel est perçue en détail. Par conséquent, lorsque nous assistons à une scène, nos yeux ne sont presque jamais au repos, car le regard doit constamment parcourir le champ visuel à la recherche de nouvelles informations essentielles à notre survie. Lorsqu'un élément attire notre attention, nous le fixons pendant quelques instants puis notre regard continue d'explorer l'environnement. La vision alterne ainsi entre des fixations et des mouvements oculaires, volontaires et involontaires appelés des saccades[7] (Schwartz, Bennett L. et Krantz, 2018, p. 99). Les saccades sont très rapides. Elles durent moins de 50 ms (c'est-à-dire un peu moins de 1/24 s) et nous pouvons en effectuer trois par seconde (p. 236). Même si elles traversent le champ visuel, nous ne percevons pas nos propres saccades, parce que le système magnocelluliare (voir chap. 2) s'éteint un peu avant, pendant, et juste après ces mouvements oculaires exploratoires[8]. Ce phénomène, appelé la suppression saccadique (*saccadic suppression*), est nécessaire, car les informations visuelles seraient floues si ce système, sensible aux mouvements rapides, demeurait actif lors d'une saccade (Schwartz, S. H., 2017, p. 203; Wolfe *et al.*, 2019, p. 264). Les scientifiques étudient les saccades et les fixations, car elles révèlent les informations perceptuelles qui nous intéressent. Le principe est simple : plus une saccade ramène notre attention sur un certain élément dans l'environnement, et plus la durée d'une fixation est longue, plus ce stimulus est saillant. Tirées de *Eye Movements and Vision* (Yarbus, 2013 [1967]), les images de la figure 7.5 illustrent comment le système visuel examine les composantes d'une scène visuelle. En effet, les lignes qui sillonnent les schémas disposés sur la rangée inférieure représentent la trajectoire empruntée par les saccades alors que le système scrutait les tableaux et photos de la rangée supérieure.

[7] Il existe trois types de petits mouvements oculaires involontaires. Bien que le terme « microsaccade », qui se définit comme « an involuntary, small, jerk-like eye movement » (Wolfe *et al.*, 2019, p. 262), semble être le terme général que certains emploient pour désigner ces trois types de petits mouvements involontaires, il existe aussi les *tremors* et des *drifts* (Martinez-Conde *et al.*, 2004, p. 231-232). Bien qu'il y ait de légères différences dans les fonctions de ces mouvements, l'important est de noter que les yeux ne sont jamais au repos.

[8] Bien qu'il n'y ait pas de doute quant à l'existence de la suppression saccadique, le degré auquel le système perceptuel cesse d'opérer est un sujet débattu par les savants (Allison *et al.*, 2010, p. 155).

Figure 7.5 : Saccades



Références[9] : **a.** *The Birch Grove* (Levitan, 1889; Yarbus, 2013 [1967], p. 182); **b.** *Morning in a Pine Forest* (Shishkin et Savitsky, 1889; Yarbus, 2013 [1967], p. 178); **c.** *They Did Not Expect Him* (Repin, c. 1886; Yarbus, 2013 [1967], p. 174); **d.** *Photograph of a Girl's Face* (Yarbus, 2013 [1967], p. 179) et **e.** *Volzhanocka* ou *Girl from the Volga Region* (Yarbus, 2013 [1967], p. 180).

Tel que discuté au chapitre 2, nous sommes hypersensibles aux disparités sensorielles (Epley, 2015, p. 126). L'attention du système visuel est ainsi dirigée vers les régions du champ visuel qui diffèrent de leur entourage. Par conséquent, lorsqu'aucun être vivant n'est présent dans la scène (fig. 7.5a), les saccades détectent les repères dénotant une variation visuelle (p. ex. un contraste, une couleur ou une orientation). Ces sensations de bas niveau deviennent donc moins importantes lorsqu'une entité animée est présente. L'attention saute dès lors d'un ourson (fig. 7.5b) ou d'une personne à l'autre (7.5c) en portant peu attention aux éléments environnementaux. Enfin, les figures 7.5d et 7.5 e démontrent que les saccades traceront le contour général d'un visage, mais aussi que ce sont vraiment les yeux, la bouche et le nez qui attirent notre attention.

7.2.3 Les saccades et les trajectoires arquées

Nous proposons que les mouvements oculaires, dont les saccades, peuvent expliquer pourquoi, à un niveau physiologique, les mouvements arqués, biologiques et animés attirent notre regard. En étudiant les liens entre la prestidigitation et la neuroscience[10], un groupe de chercheurs découvrent que les mouvements rectilignes provoquent des saccades alors que les mouvements courbés provoquent la poursuite oculaire lisse (*smooth pursuit movements*) (Otero-Millan *et al.*, 2011). Celle-ci, comme nous l'avons vu au chapitre 3, désigne les mouvements oculaires qui suivent et traquent un mouvement. D'après ces scientifiques, puisque les trajectoires rectilignes sont prévisibles, le système visuel effectue une saccade qui transporte notre attention à la fin du mouvement. Il est toutefois nécessaire de traquer un mouvement arqué, car il est imprévisible. Une pickpocket ou une prestidigitatrice qui ne veut pas attirer

[9] Puisque le livre de Yarbus a été publié initialement en russe, les titres de ces œuvres ont été traduits en anglais. Nous avons constaté qu'il y a des différences mineures entre ces traductions datant de 1967 et les titres utilisés actuellement. Nous avons donc choisi le titre le plus récent. Le premier nom figurant dans la référence bibliographique renvoie à l'artiste et la seconde mention se réfère à l'ouvrage de Yarbus.

[10] Le métier de l'animatrice est similaire à celui de la magicienne, car les deux professions contrôlent l'attention d'un spectateur pour le divertir à l'aide d'illusions. Il existe toutefois une différence majeure qui fait en sorte que les métiers sont diamétralement opposés. Alors que la prestidigitatrice détourne l'attention pour ne pas révéler le secret du tour de magie au spectateur, l'animatrice souhaite concentrer toute l'attention du spectateur sur l'illusion de l'animation.

l'attention du spectateur exécutera un mouvement rapide en ligne droite. Si elle souhaite capter l'attention, elle réalisera un geste arqué et plus lent (Macknik *et al.*, 2010, p. 79). L'animatrice peut profiter de cette découverte scientifique et choisir quel type de trajectoire elle doit employer selon l'importance du mouvement qu'elle souhaite représenter. Si le geste est significatif et risque de passer inaperçu, elle voudra activer la poursuite oculaire en produisant un mouvement suivant une trajectoire arquée exagérée. En contrepartie, tout geste non important doit être discret pour ne pas détourner l'attention plus que nécessaire de l'action principale. Par conséquent, il faut minimiser l'ampleur naturelle des courbes tracées par une action biologique purement mécanistique. Les mouvements inanimés, quant à eux, doivent suivre des trajectoires linéaires.

7.2.4 Les saccades : moteur de la perception

En plus d'explorer le champ visuel à la recherche de dangers et de différences, des chercheurs démontrent dans les années 1950 à 1960 que les saccades et les mouvements oculaires involontaires sont essentiels à la perception. En effet, lorsque les yeux sont paralysés par des drogues anesthésiques, le monde visuel disparaît graduellement (Ditchburn et Ginsborg, 1952; Pritchard, 1961, p. 72; Riggs et Ratliff, 1952, p. 872-873; Yarbus, 2013 [1967]). Ce phénomène, appelé *visual fading*[11] en anglais, illustre l'importance de la différence en perception, car sans la stimulation constante fournie par les mouvements oculaires, le système visuel s'éteint comme un écran qui se met en veille lorsque l'ordinateur n'est pas utilisé. Martinez-Conde *et al.* (2006) décrivent le paradoxe du *fading* ainsi : « Our visual system has a built-in paradox: we must fixate our gaze in order to inspect the minute details of the world, yet if we were to fixate perfectly, the entire world would fade from view due to neural adaptation » (p. 297). Depuis les découvertes de pionniers, tel le psychologue soviétique Alfred Yarbus (1914–1986), les chercheurs confirment que le mouvement, le son, ainsi que les interactions humaines attirent notre attention. Coutrot et Guyader (2014), par exemple, établissent que les visages de gens qui parlent sont parmi les repères visuels les plus saillants. Les recherches récentes corroborent aussi la théorie de Chatterjee (2014, p. 34-36), décrite au dernier chapitre, car elles démontrent que les stimuli associés au système de récompense sont les plus saillants (Della Libera *et al.*, 2011; Hickey *et al.*, 2010; Serences, 2008; Serences et Saproo, 2010).

[11] Le phénomène du *fading*, causé par la paralysie des yeux, est similaire à l'effet Troxler, qui décrit le fait que la vision périphérique disparait lorsque nous fixons quelque chose du regard (Colman, 2015, p. 785).

7.2.5 Le *staging* de l'attention sélective

Dans *The Illusion of Life*, le deuxième conseil associé au principe du *staging* est : « If you are staging an action, you must be sure that only one action is seen » (Thomas et Johnston, 1981, p. 56). Quoique simple, ce conseil démontre que les animateurs de Disney sont conscients de la nature et des limites de l'attention. D'abord, sachant que l'attention est une ressource limitée qui ne peut traiter qu'une seule chose à la fois, ils recommandent de ne montrer qu'une seule action. Les animateurs réalisent aussi que le mouvement est le percept le plus saillant et, par conséquent, qu'il peut nuire à la clarté narrative s'il détourne l'attention du spectateur de l'objectif narratif de la scène. En science, les recherches qui exposent les limites de l'attention portent sur la cécité au changement (*change blindness*, en anglais). Ce phénomène décrit notre inaptitude à remarquer les changements dans une scène ou dans un objet lorsque nos ressources mentales effectuent une tâche différente (Benjafield *et al.*, 2010, p. 67). Les études consacrées à la cécité au changement présument que nous captons inconsciemment les informations d'une scène visuelle sans en être conscients, à moins d'y porter attention (Simons et Chabris, 1999, p. 1060). Puisque nous ne remarquons pas certaines modifications lorsque notre attention est portée ailleurs, la cécité au changement est associée à la cécité d'inattention (*inattentional blindness*, en anglais), un terme inventé par Mack et Rock (1998). Poursuivant les études de Ulric Niesser (Neisser, 1979; Neisser et Becklen, 1975), Daniel J. Simons et des collaborateurs mènent une série d'expériences sur le phénomène. Dans une première étude (Simons et Levin, 1998), un expérimentateur arrête un passant sur un campus universitaire pour lui demander son chemin. Pendant que l'individu lui indique où aller, deux personnes transportant une porte passent directement entre les interlocuteurs. Lors de l'interruption bloquant momentanément la vue du passant, l'expérimentateur est remplacé par une personne différente. Dans la moitié des cas, l'individu ne remarque pas la substitution. En fait, les passants ayant le même âge que l'expérimentateur ont plus de chances de remarquer la substitution. Peut-être avons-nous moins tendance à généraliser et sommes plus attentifs lorsque nous interagissons avec quelqu'un du même endogroupe[12] que nous. Dans une autre étude (Simons et Chabris, 1999), des participants regardent la vidéo d'un match de basketball entre deux équipes, une vêtue de blanc et l'autre de noir, et doivent compter le nombre de passes faites entre les joueurs d'une même équipe[13]. Les participants sont tellement absorbés par la tâche qu'ils ne remarquent pas l'arrivée d'une dame déguisée en gorille. Celle-ci entre en scène, s'arrête au milieu du

[12] Selon le dictionnaire, un endogroupe désigne un : « Groupe auquel un individu a tendance à s'identifier (par opposition à l'*exogroupe*) » (Antidote, 2022j).

[13] Le test est basé sur les études de Neisser (1979, p. 214-215). Ce dernier montre un film d'un match de basketball durant lequel une dame portant un parapluie ouvert traverse le terrain. Les participants ne notent pas sa présence lorsqu'ils ont à accomplir une autre tâche qui exige leur attention (p. ex. compter le nombre de passes).

match et se frappe le torse avant de quitter l'écran. Lorsque les participants doivent compter le nombre de passes effectuées par l'équipe en blanc, 50 % d'entre eux ne remarquent pas l'interruption, même si le gorille noir est à l'écran pendant neuf secondes d'une vidéo en totalisant 62 (Simons et Chabris, 1999, p. 1069-1070). Toutefois, les chances de le détecter augmentent si les participants se concentrent sur l'équipe en noir. Ceci mène les chercheurs à proposer que la cécité au changement diminue lorsque l'événement inusité est similaire en apparence au phénomène auquel nous portons déjà attention (p. 1070). Si nous tentons, par exemple, de retrouver une amie dans un parc achalandé et que nous savons qu'elle portera un chapeau rouge, nous remarquerons toutes les choses rouges. Par conséquent, nous aurons du mal à la repérer si elle a décidé à la dernière minute de porter un chapeau jaune. Puisque notre attention se porte sur la tâche à accomplir, il est aussi probable que nous ne verrons pas les événements étranges qui se passent dans le parc, surtout si ces derniers ne contiennent pas d'éléments rouges. Si les études sur la cécité démontrent que nous avons plus de chances de remarquer les choses similaires, comment pouvons-nous expliquer les recherches mentionnées plus tôt, qui indiquent que c'est la différence qui attire notre attention ? En fait, ces deux résultats ne sont pas contradictoires, car la saillance visuelle varie selon la nature de l'activité. Si nous tentons d'accomplir une tâche particulière, notre attention sera captée par des stimuli similaires à ce qui occupe notre esprit. En contrepartie, lorsque nous n'avons pas d'objectif précis et complexe à accomplir, nous sommes attentifs à la différence, car cette caractéristique est visuellement saillante pour des raisons de survie. Ainsi, nous postulons que lorsque nous regardons un film animé, c'est généralement la différence et non la similitude visuelle qui prime, car nous n'avons pas d'objectif précis à accomplir, outre le désir d'être diverti ou stimulé[14]. Pour que le *staging* fonctionne, l'animateur et la réalisatrice doivent donc utiliser la différence visuelle pour capter l'attention du spectateur. De surcroît, tant et aussi longtemps qu'un élément particulier demeure le centre d'intérêt[15], ils doivent éviter d'employer des sensations différentes ailleurs dans l'écran, car celles-ci seront source de distraction et risquent de détourner l'attention du spectateur.

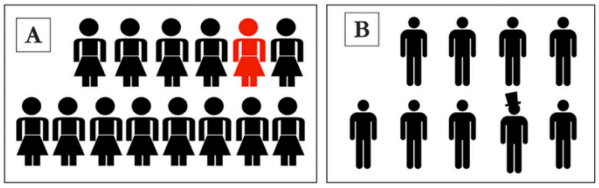
Pour illustrer comment l'attention du public peut être manipulée au cinéma, imaginons un scénario où deux ennemis jurés se font face au milieu d'un champ de bataille. L'objectif de la scène (*story point*) est

[14] Il arrive parfois qu'un personnage à l'écran ait à trouver un élément pour des raisons narratives (p. ex. un individu ou un indice). La réalisatrice peut représenter la recherche à l'aide d'un plan subjectif. Le public se met ainsi dans la peau du personnage et, comme ce dernier, son attention est captée par la similitude et non la différence. Il faut noter que cette activité est souvent soigneusement orchestrée par la réalisatrice qui contrôlera, à l'aide du *staging*, où le public regardera et déterminera le moment exact où l'objet de la recherche sera découvert.

[15] Certains chercheurs utilisent l'acronyme « FoA » (*focus of attention*) pour désigner ce à quoi nous portons attention. Bien que le terme soit pratique et décrive bien le phénomène, il est employé en psychologie de la performance et non en perception. Nous employons donc le « centre d'intérêt ».

d'illustrer la tension croissante entre des adversaires jusqu'à ce qu'elle atteigne son paroxysme et qu'ils dégainent leur arme. Puisque la confrontation se déroule au milieu d'un environnement dynamique rempli de sources potentielles de distraction, il faut s'assurer de maintenir l'attention du public sur les duellistes. La façon la plus simple d'atteindre cet objectif est d'employer des plans rapprochés, car ces derniers excluent les éléments du décor et focalisent l'attention du public sur les visages des protagonistes[16]. Cette stratégie est efficace, mais elle ne résout pas le problème attentionnel posé par l'usage de plans plus éloignés qui, en révélant une plus grande portion du champ de bataille, augmentent le risque que le public soit distrait par un élément de la mise en scène. Ce problème n'est pas limité à notre exemple, mais survient dans tout *staging* cinématographique. Même si nous avons une vue d'ensemble au théâtre, nous ne portons généralement pas attention aux éléments de la mise en scène, car ils sont fixes. Seuls les comédiens bougent[17]. Au cinéma par contre, les personnages vivent leurs aventures dans des environnements un peu plus dynamiques. Comment alors pouvons-nous illustrer le fait que la confrontation a lieu dans un environnement dangereux et chaotique, tout en maintenant l'attention du public sur les duellistes ? L'animatrice peut focaliser l'attention en n'exagérant que les percepts associés aux duellistes et en atténuant tous les éléments de la mise en scène qui ne les affectent pas. Le danger de vouloir minimiser la saillance des facteurs secondaires est que l'environnement deviendra stérile et artificiel. Pour éviter que nous ayons l'impression que les duellistes s'affrontent sur une scène théâtrale, il faut créer l'illusion d'activité, tout en privant celle-ci de toute caractéristique qui détournerait l'attention. Puisque c'est généralement la différence sensorielle, plutôt que la similarité, qui capte notre attention au cinéma, seuls les personnages importants devraient avoir des traits exagérés, caricaturaux ou supranormaux. Les mouvements biologiques et animés qui sont rapides, spontanés et arqués devraient être réservés aux actions des duellistes, car ils captent immédiatement notre attention. Les mouvements inanimés produits par les effets environnementaux (p. ex. pluie, brume, neige, vent, etc.) sont extrêmement utiles. Ils renforcent l'atmosphère dramatique d'une scène tout en fournissant juste assez de stimulation visuelle pour « animer » passivement le plan sans détourner l'attention de l'action principale. Sachant que le public

Figure 7.6 : Saillance de la différence



Images créées par l'auteur.

[16] Hugo Münsterberg (2002 [1916]) constate que le gros plan est un excellent outil de canalisation attentionnelle unique au cinéma (p. 87-88).

[17] Au théâtre, en plus du mouvement et des sons, il est possible de davantage focaliser l'attention du public en n'éclairant qu'une partie de la scène.

cherchera à traquer les duellistes dans les plans plus larges, il faut aussi éviter d'employer les mêmes repères visuels les distinguant des personnages secondaires. Donc, si leurs habits sont colorés, les autres couleurs dans la scène devront être désaturées (fig. 7.6A), et s'ils portent des accessoires uniques (fig. 7.6B), il faudra éviter que les figurants aient ces mêmes articles.

Finalement, puisque les visages et les yeux attirent immédiatement notre attention, il faut éviter de montrer les figurants de face. L'introduction d'un nouveau *story point* important pose un défi, car il faut s'assurer que le public le remarque et veuille changer son centre d'attention. La façon la plus simple de bien transférer l'attention d'un élément A à un élément B est de commencer par rendre A inintéressant en l'immobilisant. Il est aussi possible de ralentir A et de l'animer en utilisant des trajectoires linéaires. Après avoir rendu A moins captivant, il faut diriger l'attention du public vers le nouveau *story point* B. Si B est une personne, l'animatrice peut le doter de mouvements animés spontanés, arqués et plus rapides que ceux de A. Si nous devons animer une conversation entre des amis réunis autour d'une table dans un café achalandé, il faut s'assurer que le spectateur regarde la personne qui parle. Lorsque nous avons travaillé brièvement sur la série télévisée *6teen* (Pertsch *et al.*, 2004-2010) et devions animer une telle scène, la règle suivante devait être respectée : seul le personnage ayant la parole avait le droit de bouger. Les autres personnages pouvaient cligner des yeux de manière intermittente pour maintenir l'illusion qu'ils étaient vivants et attentifs, mais ces derniers devaient néanmoins demeurer immobiles tant et aussi longtemps qu'ils restaient muets. Bien que cette forme d'animation limitée soit typique d'une série télévisée, les mouvements des personnages qui ne parlent pas sont aussi atténués dans des films à plus grand budget. Après tout, le conseil de ne représenter qu'une seule action à la fois n'a pas été formulé pour permettre à Disney d'économiser de l'argent, mais vise à maximiser la clarté du propos cinématographique. Tout comme l'exagération est un phénomène perceptuel qui influence les autres principes d'animation, les conseils offerts par le *staging* s'appliquent également à tous les principes d'animation. Deux autres principes d'animation, celui de l'anticipation (n° 2) et de l'action secondaire (n° 8), sont associés à la canalisation de l'attention sélective et au *staging*. Puisque ces principes sont ancrés dans les lois fondamentales de la mécanique, il est important de décrire le rôle que joue la physique en animation avant de les présenter.

7.3 La physique et l'animation

« Eppur si muove » (Et pourtant ça bouge).
Galileo Galilei[18]

Bien qu'il existe des différences capitales entre les actions arquées d'un être biologique et les mouvements passifs d'un objet inerte (voir chap. 6), l'entité vivante (animée) est néanmoins sujette aux mêmes forces naturelles et physiques qui meuvent les choses inanimées. Par conséquent, la trajectoire d'un mime projeté d'un canon ou lancé d'un immeuble sera similaire à celle d'une statue qui subit le même sort. Il va sans dire que, dans la réalité, les forces physiques agissent directement et naturellement sur les objets dans l'environnement. En contrepartie, puisqu'une animation est l'amalgame d'un ensemble d'illusions perceptuelles, l'animatrice doit simuler l'effet de ces forces sur les éléments qu'elle anime. Par conséquent, qu'il s'agisse de planifier la trajectoire d'une balle qui rebondit ou d'animer des actions plus complexes, comme des cycles de marche ou des performances émotionnelles, l'animatrice utilise les lois fondamentales de la physique pour créer des mouvements, des histoires et des environnements réalistes et convaincants. L'animation et la physique sont ainsi deux faces de la même médaille, car les trois axiomes de Newton, qui seront décrits ci-bas, expliquent de manière théorique ce que l'animatrice doit mettre en pratique[19]. Elle se pose ainsi deux questions liées à la physique. La première est : quel est l'effet d'une force sur un objet (Whitaker *et al.*, 2018 [2009], p. 25) ? La seconde question est : à quel degré les mouvements animés doivent-ils être réalistes pour fonctionner ? Ces questions sont capitales, car l'animatrice veut exagérer les mouvements qu'elle produit pour les rendre intéressants. Elle veut toutefois éviter de miner la crédibilité d'illusion de l'univers qu'elle a créé en surexagérant certains mouvements ou en commettant des erreurs dans la représentation des phénomènes qu'elle anime. Elle doit ainsi trouver un équilibre entre la crédibilité du mimétisme et l'expressivité de l'exagération. Pour atteindre cet objectif, il est important dans un premier temps de connaître les principes fondamentaux de la physique. Tels qu'énoncés par Sir Isaac Newton en 1697 dans *Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica*[20] (Newton,

[18] D'après la légende entourant Galilée, le savant aurait prononcé ces mots en 1633 au moment où il rétracte sa théorie héliocentrique de l'univers devant le tribunal de l'Inquisition (Howard, 2009, p. 1).

[19] La similarité entre l'animation et la physique est telle que les noms des sous-sections portant sur le mouvement dans un manuel de physique pourraient être repris verbatim dans un livre sur l'animation (p. ex. Cassidy, Holton et Rutherford [2015, p. 15]).

[20] *Le Principia* de Newton est considéré par plusieurs comme étant l'ouvrage le plus important de l'ère moderne, car les axiomes et principes qui y sont décrits peuvent prédire le mouvement de tous les corps dans l'univers (Harari, 2016, p. 255). Les physiciens constatent toutefois à partir de la fin du XIXe siècle que la physique newtonienne n'est pas en mesure de tout expliquer. Le fait que la théorie de l'électrodynamique de James C. Maxwell (1831-1879) soit incompatible avec la physique newtonienne mène au développement de la théorie de la relativité restreinte d'Albert Einstein (1879-1955), qui sert à expliquer les systèmes cosmologiques et le mouvement d'objets dont la vitesse est proche de celle de la lumière (Taillet *et al.*, 2018, p. 314 et 642). Bien que ces différentes formes de physique puissent servir d'inspiration artistique, en cherchant à déplacer un objet de A à B à image par image, l'art de l'animation repose sur la physique mécanique de Newton.

2016 [1999, 1726]), les trois axiomes universels du mouvement sont : 1) le principe de l'inertie, 2) le principe fondamental de la dynamique et 3) la loi de l'action-réaction (Taillet *et al.*, 2018, p. 507). Pour bien comprendre ces lois, il est nécessaire de décrire les concepts sur lesquels ils reposent. Ces derniers sont : la force, l'inertie, et la masse. En physique mécanique, une force représente une poussée ou une traction « qui, lorsqu'elle agit sur un corps, cause une ACCÉLÉRATION ou une déformation » (Sherwood et Sutton, 1990, p. 150, majuscules préservées). L'inertie, qui est une propriété de la matière, dénote la capacité d'un corps ou d'un système physique à résister à tout changement dans son état de mouvement (Sherwood et Sutton, 1990, p. 151; Taillet *et al.*, 2018, p. 382-383). Puisque les corps ont une inertie, il faut exercer une force sur ces derniers pour les faire bouger ou transformer leur état. Par conséquent, un objet au repos reste au repos et un objet en mouvement continue sa trajectoire rectiligne à moins qu'une force extérieure n'intervienne (Benson, H. *et al.*, 2004, p. 82). Ce principe est le premier axiome du mouvement de Newton (2016 [1999, 1726], p. 62).

D'après le second axiome du mouvement, « la force est égale au produit de la masse par l'accélération » (Sherwood et Sutton, 1990, p. 14). En plus de désigner la quantité de matière qui compose un corps (Newton, 2016 [1999, 1726], p. 63), la masse est donc l'unité de mesure de l'inertie (Benson, H. *et al.*, 2004, p. 122). Mathématiquement, si nous cherchons à déterminer la masse, la deuxième loi peut s'exprimer ainsi : $m = F/a$, où « m » désigne la masse, « F », la force, et « a », l'accélération[21]. En d'autres mots, plus la masse d'un corps est grande, plus elle résiste aux variations de vitesse. Il faut ainsi énormément de force pour bouger un boulet de canon. Et puisqu'un objet en mouvement reste en mouvement (axiome n° 1), il faut beaucoup de force pour l'arrêter. À l'inverse, la masse d'un ballon d'anniversaire est faible. Puisqu'il a peu d'inertie, il faut peu de force pour le faire bouger ou changer de direction. Cet axiome est bien illustré dans le court-métrage animé *Sisyphus* (Jankovics, 1974) qui illustre le mythe du supplice quotidien de Sisyphe, un Titan condamné par Zeus à transporter des roches au sommet d'une montagne. Au début du film, la pierre poussée par le Titan est relativement petite. Puisque sa masse (m) est faible, Sisyphe doit employer relativement peu de force (F) pour la faire accélérer (a). Toutefois, plus il gravit la montagne, plus la masse et la taille de la roche augmentent. Bien que Sisyphe redouble d'efforts, l'accélération de son ascension diminue progressivement ($a = F/m$), car sa force corporelle (F) est limitée et la masse (m) de la roche ne fait qu'accroître. Il faut noter que *Sisyphus* est une démonstration originale de la physique en animation, car Jankovics illustre la première et la deuxième loi

[21] Généralement, la deuxième loi de Newton est formulée pour calculer la somme (Σ) des forces qui agissent sur un corps ou une particule. Elle s'écrit donc $\Sigma F = ma$ (Benson, H. *et al.*, 2004, p. 123).

de Newton en combinant des lignes qui alternent entre la rigidité tendue de l'effort et la fluidité de la force animée.

La troisième loi dicte que « les forces que deux corps exercent l'un sur l'autre sont toujours égales et opposées » (Sherwood et Sutton, 1990, p. 14). Pour expliquer comment cette loi opère, Newton (2016 [1999, 1726], p. 63) décrit une scène où un cheval doit traîner une pierre à laquelle il est attaché par une corde. Même si c'est le cheval qui pousse la pierre vers l'avant, la troisième loi de Newton dicte que l'inertie de l'objet tire le cheval vers l'arrière. La loi opère également lorsque nous tirons une balle d'un fusil, car la force du projectile projeté vers l'avant est égale et opposée à la force du recul de l'arme (qui va vers l'arrière) (Benson, H. *et al.*, 2004, p. 14). Il faut s'assurer de bien représenter cet axiome en animant des collisions et autres phénomènes associés à la causalité décrits au chapitre 6.

Puisque l'animation est un art et non une science et que ses praticiens sont des artistes plutôt que des savants, les concepts newtoniens de l'inertie, de la masse et de la force ont été simplifiés, adaptés et intégrés aux astuces et règles utilisées par les animateurs pour que ces derniers puissent représenter des effets physiques de manière convaincante. La taxonomie du mouvement animé réalisée par Munro et McLaren dans *Le mouvement image par image* (voir chap. 5) illustre bien la manière dont les principes newtoniens ont été transposés à l'art pratique de l'animation. Le mouvement constant et le zéro, qui sont les caractéristiques n° 1 et n° 4 du tempo, décrivent ainsi les deux états associés à l'inertie (axiome n° 1). De surcroît, l'accélération et la décélération (caractéristiques n° 2 et n° 3) décrivent le principe fondamental de la dynamique. Dans *The Illusion of Life* (Thomas et Johnston, 1981, p. 62), le principe du *slow in and slow out* (n° 6) explique également comment animer les accélérations et décélérations décrites par Newton dans sa deuxième loi. Curieusement, même si Thomas et Johnston consacrent quelques pages à l'importance du poids dans un cycle de marche (p. 347-351), le poids ou la masse ne sont pas mentionnés explicitement dans les principes d'animation[22]. L'importance de ces concepts physiques est toutefois soulignée par d'autres auteurs lorsque le *timing* (principe n° 9) est présenté. Dans *Timing for Animation* (2018 [2009], p. 31 et 76), par exemple, Whitaker *et al.* expliquent qu'il faut plus de force, de temps et d'effort pour changer l'état d'objets ou de personnages massifs. Les actions d'un géant sont ainsi plus lentes et les positions des intervalles qui composent ses mouvements doivent être rapprochées. En contrepartie, il faut moins de force pour déplacer un personnage plus petit, car sa masse et son inertie

[22] Le poids (*weight*) est mentionné au passage lorsqu'il est question des trajectoires arquées, mais la notion n'est pas développée (Thomas et Johnston, 1981, p. 62).

sont plus faibles. Ses actions sont aussi plus rapides et ses intervalles plus espacés. Richard Williams, R. (2001) insiste aussi sur l'importance du poids tout au long du *Animator's Survival Kit* et remarque que « We're animating *masses,* not lines » (p. 34). Alors que ces principes démontrent comment représenter simplement la vitesse et la masse, d'autres principes d'animation tentent d'expliquer la complexité inhérente des actions physiques qui sont dynamiques et agissent en concert.

7.3.1 *Follow Through and Overlapping Action*

Comme cela a été démontré au sein du chapitre 1, le principe du *follow through and overlapping action* (n° 5) stipule qu'il ne faut pas arrêter le mouvement d'un personnage d'un seul coup, car les corps se déplacent et s'arrêtent à des vitesses différentes. Cette explication repose sur le principe de l'inertie (axiome n° 1) et le principe fondamental de la dynamique (axiome n° 2). Puisqu'un objet en mouvement reste en mouvement, les extrémités et les appendices d'un corps animé (p. ex. vêtements, cheveux, gros ventre, etc.) continueront de bouger (*follow through*) après que la partie principale se soit immobilisée (Whitaker *et al.*, 2018 [2009], p. 59-61). De plus, puisque chaque appendice et élément mobile a ses propres masse et inertie, il est important dans une animation réaliste que les différents mouvements se chevauchent et ne terminent pas en même temps (*overlapping action*). Ce principe décrit en essence comment une force, qui se propage à travers le corps comme une vague, se dissipe à des moments différents selon l'inertie respective des parties en mouvement. Par exemple, si un mousquetaire qui court s'arrête subitement, la plume fixée à son chapeau, les manches de sa tunique et sa cape continueront de bouger. Si le personnage est détendu ou souple, l'animateur peut adoucir le choc perceptuel causé par une action qui se termine subitement en poursuivant le mouvement des bras et des mains. De la même manière que le *squash and stretch* (principe n° 1) peut minimiser l'effet stroboscopique causé par un mouvement apparent rapide en étirant la forme pour combler les trous séparant les intervalles (voir chap. 5), le *follow through and overlapping action* peut aussi être employé à cet effet, car les appendices qui traînent derrière la forme principale comblent naturellement les espaces séparant les intervalles lorsque le mouvement est rapide. Nous reviendrons brièvement à l'importance de ce principe à la fin de ce chapitre, car nous croyons qu'il confère une crédibilité physique à des actions impossibles.

7.3.2 L'anticipation et l'action secondaire

L'anticipation (principe d'animation n° 2) dicte que les actions importantes doivent être précédées par un mouvement anticipatoire allant dans la direction opposée (Furniss, 2016, p. 102; Thomas et Johnston,

1981, p. 51-53; Williams, R., 2001, p. 274). Don Graham[23] précise que l'anticipation est constituée de deux éléments : 1) l'interprétation physique produite naturellement par la façon dont le corps humain est articulé, et 2) l'interprétation dramatique qui rend la performance plus intéressante en exagérant les mouvements anticipatoires (Hahn et Miller-Zarneke, 2015, p. 98-99). Bien que ces deux formes d'anticipation soient exprimées simultanément dans une action, il est utile de les décrire séparément à des fins de clarté, car elles produisent des phénomènes différents.

Avant de lancer un javelot ou une balle, nous devons d'abord reculer notre bras, car il plutôt difficile de jeter un objet d'une position statique. Puisque ce geste est associé à la physiologie du corps humain et aux lois newtoniennes, il s'agit d'une anticipation qualifiée de physique. Pour illustrer davantage ce point, prenons l'exemple d'un alpiniste qui se tient debout sur le flanc d'une montagne. Ce dernier souhaite se hisser sur une corniche au-dessus de lui, mais est incapable d'atteindre le rebord en levant ses bras. Puisque l'alpiniste est au repos et que le principe de l'inertie établit qu'il restera au repos à moins qu'une force change son état de mouvement, il ne peut pas se projeter immédiatement dans les airs pour attraper le rebord. Il doit d'abord accumuler la force musculaire qui contrera la force gravitationnelle et propulsera son corps dans les airs. En d'autres mots, il doit s'accroupir avant de sauter. Puisque l'accroupissement est l'action corporelle qui précède naturellement un saut, il faut la représenter en animation pour que l'action semble crédible. Alors que cette anticipation physique sert à représenter une action de manière réaliste, l'anticipation dramatique peut amplifier la saillance perceptuelle de l'action de différentes manières.

L'animateur et auteur Richard Williams (2001, p. 273) commence son chapitre sur l'anticipation avec quelques citations, dont la suivante, qu'il attribue, probablement à tort[24], à l'acteur Charlie Chaplin :

1 Tell'em what you're going to do.
2 Do it.
3 Tell'em that you've done it.

Ce conseil décrit bien la fonction perceptuelle d'une anticipation dramatique, car, en exagérant l'action, elle signale au spectateur que quelque chose d'important est sur le point de se produire et qu'il serait sage d'y porter attention. L'anticipation dramatique est un outil de captation attentionnelle associé au principe du *staging* qui exploite la saillance de l'exagération. Beckerman (2003) est du même avis et note que

[23] Graham est invité par Disney à offrir des classes d'art au studio (voir chap. 1).

[24] Williams n'inclut pas la source de sa citation et nous avons été incapable de l'associer à Chaplin. De plus, le site Quote investigator (O'Toole, 2017) attribue une version de la citation à un sermon transcrit dans un journal anglais en 1908. Le site suggère qu'elle serait probablement venue d'Aristote, mais ne fait aucune mention de Charlie Chaplin.

même les actions simples doivent être exagérées en animation, car une action qui débute sans avertissement ou préambule ne fonctionne pas (p. 181-182). Puisqu'une anticipation dramatique a tendance à être un peu plus lente que l'action principale qu'elle annonce, le spectateur a le temps de changer son centre d'intérêt et de se concentrer sur le nouvel élément. Ceci minimise l'effet du « coût de commutation » (*switch cost*, en anglais), qui décrit le fait que notre performance chute juste après que nous changeons de tâche (Monsell, 2003). Il y a ainsi un délai avant que nous soyons en mesure d'effectuer une nouvelle tâche de manière optimale (sans commettre des erreurs). Les recherches en psychologie mesurant le coût de commutation démontrent qu'il faut entre 150 ms et 300 ms pour changer notre attention d'une chose dans notre mémoire active à une autre (Hedge *et al.*, 2015; Oberauer, 2003; Thigpen *et al.*, 2019, p. 1269). Ces recherches suggèreraient que chaque anticipation devrait durer entre 4 et 7 images (minimum) à une cadence de 24 i/s, pour que l'attention du spectateur ait le temps d'être transférée d'un *story point* à un autre. Puisque ces recherches portent sur la mémoire et non la perception, il ne faut toutefois pas présumer que ces valeurs représentent la durée idéale d'une anticipation. Cela dit, sachant que les tâches perceptuelles occasionnent toujours un coût de commutation (Elchlepp *et al.*, 2021) et qu'un film est un stimulus dynamique qui mobilise un ensemble de facultés cognitives différentes (p. ex. mouvement, couleurs, émotions, histoires, mémoire, etc.), il serait sage pour l'animatrice de pécher par excès de prudence en s'assurant que ses anticipations soient suffisamment longues pour optimiser la compréhension des actions et des idées qu'elle anticipe de manière dramatique et physique. Encore une fois, la façon la plus simple de s'assurer que le public ait le temps de remarquer un nouveau *story point* et ait le temps de bien y porter attention est d'étirer la durée de l'anticipation. Williams (2001) recommande ainsi d'avoir une anticipation qui est « généralement plus lente – moins violente que l'action [principale] » (p. 275). Le fait de rallonger la durée de l'anticipation a un effet curieux, car elle renforce la force physique et la saillance visuelle du mouvement anticipé (p. 273). Par conséquent, plus l'anticipation est grande, lente et dramatique, plus le mouvement principal pourra être fort, rapide et impressionnant. Cet effet peut être expliqué en partie par les lois de la physique décrites au début de cette section. Puisque le 3^{e} axiome de Newton établit que la force de l'action est égale à la force de la réaction, le public s'attend à ce que l'action principale déploie autant de force que ce qui a été accumulé durant la phase anticipatoire du mouvement. Donc, plus une archère tire la corde de son arc vers l'arrière et plus un lanceur de baseball recule son bras, plus la flèche et la balle seront projetées avec force. Bien qu'il soit logique d'un point de vue mécanique de croire que l'ampleur physique de l'anticipation ait un effet direct sur la force du mouvement principal, la durée n'a pas nécessairement cet effet dans la réalité. Le fait de rester accroupi plus longtemps, par exemple, ne permet pas à notre alpiniste de sauter plus haut et la force d'une flèche

tirée d'un arc n'augmentera pas si l'archère attend avant de relâcher la corde. Dans une scène dramatique par contre, la durée de la pause anticipatoire et la détermination psychique du personnage semblent être converties par le spectateur en énergie physique qui doit éventuellement être dégagée lors du mouvement principal. Dès lors, plus notre alpiniste reste accroupi et sue en fixant son objectif, plus il sera en mesure de sauter haut. Les jeux vidéo de combat exploitent ce principe naïf lorsque l'avatar du joueur doit d'abord accumuler une certaine quantité d'énergie avant de pouvoir effectuer des actions puissantes ou extraordinaires (p. ex. sauter plus haut, courir plus rapidement, projeter des boules d'énergie, etc.). Il peut acquérir l'énergie par l'action, en effectuant des mouvements particuliers (*combos*), ou par l'inaction, en demeurant immobile et en absorbant l'énergie de son environnement[25]. Dans tous ces cas, le personnage devient une sorte de pile électrique qui stocke de l'énergie de toutes les sortes jusqu'à ce qu'il décide de la libérer. Puisque l'acte de bouger dépense de l'énergie physique, plutôt que d'en accumuler, et qu'un objet au repos reste au repos, comment se fait-il qu'une transformation de mouvements, de temps ou de volonté en force physique semble néanmoins logique et plausible lorsque nous la voyons ? Nous postulons que tous ces exemples peuvent être expliqués à l'aide d'un modèle transactionnel qui utilise l'allocation de ressources perceptuelles comme monnaie d'échange. En encourageant un joueur à rester immobile, la conceptrice lui demande de mettre son avatar en danger, car il faut généralement bouger pour survivre dans un jeu vidéo. Le joueur est toutefois prêt à prendre ce risque, car ce dernier lui permettra d'effectuer une action puissante qui l'aidera à atteindre ses objectifs ludiques. Et le public est heureux de fixer une action dramatique, car il s'attend à ce que l'investissement de son attention, qui est une ressource limitée, soit récompensé par une action impressionnante, surprenante ou divertissante. Évidemment, la conceptrice et la réalisatrice doivent s'assurer que l'effet soit proportionnel à la promesse, car si un consommateur se sent floué, il cherchera ses distractions ailleurs.

Bien que nous ayons présenté les deux formes d'anticipation séparément, elles sont généralement exprimées en même temps. Par exemple, juste avant d'échapper au Coyote, le Road Runner des Looney

[25] Bien que l'avatar du joueur soit stationnaire lorsqu'il accumule de l'énergie potentielle de cette manière, il faut éviter que les personnages ou éléments à l'écran soient parfaitement immobiles pour plus de quelques images, car le manque de changement dans le champ visuel « éteint » la perception (voir section 7.2.4). Par conséquent, les poses anticipatoires plus longues doivent être réanimées par des mouvements secondaires pour maintenir l'intérêt perceptuel de l'action. Les mouvements associés au principe du *follow through and overlapping action* (p. ex. vêtements, cheveux, etc.), qui seront discutés plus bas, aident à maintenir l'image en mouvement de manière naturelle. Ces mouvements peuvent aussi illustrer l'accumulation d'énergie par le personnage. Ce dernier peut donc suer, froncer des sourcils ou resserrer ses muscles. En plus de ces indices physiques et émotionnels, les poses anticipatoires sont généralement accompagnées dans un jeu vidéo par des effets visuels (p. ex. vent, énergie statique, etc.) qui représentent non seulement l'accumulation de la charge anticipatoire, mais également la forme d'énergie qu'elle prendra lorsque le joueur la libérera. De petits éclairs qui se forment autour de l'avatar, par exemple, suggèrent que ce dernier déchargera de l'électricité.

Tunes saute sur place ou lève une de ses pattes légèrement. Ces mouvements peuvent être décrits dans un premier temps comme des anticipations physiques, car ils représentent l'élan qu'il faut prendre naturellement avant de partir subitement à la course. Puisque ces gestes relativement discrets produisent une course effrénée, ils peuvent aussi être décrits comme des anticipations dramatiques qui sont des versions caricaturales et humoristiques d'un élan réel. Le « beep-beep! » que le Road Runner émet juste avant de disparaître est une autre forme d'anticipation dramatique, car le son attire notre attention et nous annonce son départ imminent. L'anticipation produit d'autres effets perceptuels variés qui enrichissent le *staging* d'une action, d'un plan ou d'une séquence. Par exemple, les actions anticipatoires qu'une prestidigitatrice effectue juste avant de sortir un lapin de son chapeau peuvent être tout aussi divertissantes que le tour de magie lui-même. L'anticipation dramatique peut aussi donner une touche de réalisme psychologique supplémentaire, car le fait d'anticiper un geste implique que le personnage pense à l'action avant de l'exécuter (Williams, R., 2001, p. 274). Enfin, la nature du geste anticipatoire peut illustrer la personnalité et les intentions du personnage. Par exemple, si la prestidigitatrice frotte ses mains sur son veston avant d'effectuer le tour de magie, ce petit geste inconscient, qui constitue à la fois une action secondaire et une anticipation dramatique, suggère que la magicienne manque de confiance. Les principes du *staging* et de l'anticipation sont ainsi associés au *secondary action* (n^{o} 8), car ce dernier encourage l'animateur à ajouter un geste secondaire qui révèle la personnalité du personnage et peut renforcer ou nuancer l'émotion exprimée par l'action principale (Thomas et Johnston, 1981, p. 63-64). Bien que l'animatrice soit en mesure de créer des expériences cinématographiques hyperréelles en contrôlant l'attention du public grâce au *staging* et en exagérant les éléments cinématographiques, ses efforts peuvent être minés si les axiomes de Newton et certaines règles ne sont pas respectés. De toutes les forces qu'il faut s'assurer de bien représenter en animation, la gravité semble être une des plus importantes.

7.3.3 La gravité : erreurs et trajectoires

La gravité est la « force qui s'exerce entre deux corps massifs en mécanique classique » (Taillet *et al.*, 2018, p. 314). Puisque la masse de la Terre est énorme, sa force gravitationnelle est si forte qu'elle tire les corps en direction de son centre. Il faut préciser qu'en physique, il y a une différence entre la masse d'un objet et son poids. Comme cela a été démontré, la masse est une propriété intrinsèque de la matière. Elle est mesurée sur une balance en kilogrammes (Borel, 2011, p. 75) et représente la quantité de matière d'un corps. Puisque la masse ne change pas, une personne a la même masse, qu'elle soit sur la Terre ou sur la Lune. Le poids mesuré en « newtons » représente la force qu'exerce un corps sur un autre. Le poids de

quelqu'un sera six fois plus petit sur la Lune, car la force gravitationnelle y est moins forte (Lafrance et Parent, 2014, p. 154; Sherwood et Sutton, 1990, p. 151). Bien qu'il soit important de distinguer le poids de la masse en physique, le langage courant et les ouvrages portant sur l'art de l'animation utilisent généralement les deux termes sans discernement. Dans un souci de simplicité, nous parlerons de la masse des personnages animés, plutôt que de leur poids, car la plupart des films se déroulent dans un environnement terrestre, où la force gravitationnelle est constante et le poids d'un corps ne dépend que de sa masse. Nous utiliserons toutefois le terme « poids », lorsqu'il sera question d'un environnement dont la force gravitationnelle diffère de celle de la Terre ou lorsque nous voudrons insister sur l'importance de la gravité dans un mouvement.

Étant donné que la gravité est un facteur invariant[26] d'une importance capitale à notre existence, plusieurs chercheurs croient que le système visuomoteur[27] emploie un modèle de prédiction gravitationnelle interne pour guider nos mouvements et faciliter le traitement et l'interprétation des informations sensorielles (Hubbard, 2019, p. 2161; 2020; Jörges et López-Moliner, 2017; Zago *et al.*, 2008). Ce modèle forme, avec l'expérience et l'évolution, des règles qui sont similaires aux axiomes du mouvement décrits au sein du chapitre 4. Ces astuces se basent sur le fait que la gravité est une force qui agit de haut en bas et que certaines choses dans l'environnement se situent généralement dans la partie supérieure d'une scène (p. ex. nuages, soleil, plafond, etc.), alors que d'autres éléments sont présents dans la partie inférieure d'une scène (meubles, pieds, gazon, etc.). Ces heuristiques permettent au système perceptuel d'interpréter les stimuli sensoriels rapidement et de prédire le résultat d'événements dynamiques. Il est possible de constater l'importance du rôle joué par ce modèle que nous tenons pour acquis lorsqu'il cesse de fonctionner normalement. Le fait d'inverser l'orientation du corps dans un PLD[28] (c'est-à-dire montrer le mouvement à

Figure 7.7 : L'effet de l'inversion faciale

Image créée par l'auteur.

[26] Décrits au chapitre 1, les invariants sont les informations qui demeurent constantes dans le flux optique, peu importe le mouvement de l'observateur (Goldstein et Cacciamani, 2022, p. 151).

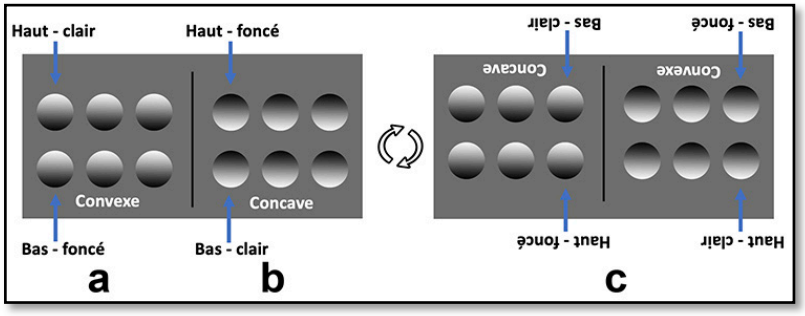
[27] Comme nous avons vu au chapitre 2, le système visuomoteur, associé au *action pathway* de la voie dorsale (Gallivan et Goodale, 2018), traite les informations visuelles, dont les relations spatiales entre notre corps et notre environnement, pour que nous puissions agir et de se déplacer (Buhrmann *et al.*, 2013, p. 1; Goodale et Milner, 2013, p. 64).

[28] Décrits au sein du chapitre 6, les PLD ou *point-light displays* sont les points lumineux qui représentent un mouvement biologique sans forme.

l'envers), par exemple, entrave ou élimine notre habileté d'inférer des informations à partir de mouvement biologique (Chang et Troje, 2009a, 2009b; Hirai, Chang*, et al.*, 2011; Hirai, Saunders*, et al.*, 2011; Shipley, T. F., 2003)[29]. De surcroît, il est beaucoup plus difficile de reconnaître quelqu'un lorsque son image est inversée (Hochberg et Galper, 1967; Rossion, 2008). Le système perceptuel est si habitué au fait que certains traits faciaux soient orientés dans une certaine direction (fig. 7.7a) qu'une inversion des yeux et de la bouche passe inaperçue lorsque la tête est présentée vers le bas (fig. 7.7 b). Il est toutefois clair en redressant l'image à la figure 7.7c, que les yeux et la bouche de la figure 7.7b étaient à l'envers. Il n'y a pas que la perception des visages qui soit influencée par des suppositions heuristiques basées sur la gravité et l'orientation naturelle des choses. En regardant une séquence ou une image au sein de laquelle l'horizon est incliné, notre réflexe est de rétablir le « niveau » en penchant la tête. Au cinéma, les séquences d'action de *Inception* (Nolan, 2010) et de *Doctor Strange* (Derrickson, 2016), durant lesquelles les immeubles se plient et des scènes entières pivotent sur elles-mêmes, sont à la fois excitantes et déstabilisantes, car elles remettent en cause et manipulent les attentes de notre système interne de prédiction gravitationnelle. Même la scène célèbre, divertissante et cocasse de *Royal Wedding*[30] (Donen, 1951), où Fred Astaire danse au plafond, peut être déstabilisante par moments.

Nous utilisons également la direction des ombres et des lumières pour inférer le volume des objets présents dans la scène, car, pour nos ancêtres et la grande majorité des animaux de la planète, la seule source de lumière est le soleil (ou la lune). Même la lumière ambiante à l'intérieur vient souvent d'un système d'éclairage installé au plafond. Le système visuel présume donc que la lumière vient d'en haut et que les ombres sont vers le bas. Nous interprétons ainsi les cercles de la figure 7.8a comme étant des sphères convexes, car la lumière illumine le haut de la forme qui ressort de l'image. À l'inverse, les cercles de la figure 7.8b sont perçus comme étant concaves, car nous

Figure 7.8 : Effet de la lumière sur la perception volumétrique



[29] La gravité exerce également un effet sur l'élan représentationnel décrit au chapitre 2 (Dobrez, 2013, p. 391-392; Freyd, 1983a, 1983b), car en plus de continuer de poursuivre son mouvement, la position imaginaire d'un objet continue également de descendre, comme si la gravité tirait sa position vers le bas.

[30] Stanley Donen, le réalisateur de *Royal Wedding*, a aussi réalisé le vidéoclip *Dancing on the Ceiling* (Donen, 1986) 30 ans plus tard, avec Lionel Ritchie.

supposons que l'ombre située en haut plutôt qu'en bas est créée par la lumière qui frappe le rebord de la concavité supérieure de la forme. L'effet est toutefois une illusion formée par notre présupposition, car les deux images sont la même forme qui a été inversée (fig. 7.8c).

Puisque la gravité exerce énormément d'influence sur la perception, il est logique de supposer qu'elle soit tout aussi importante en animation. Lors de chaque année universitaire, cette hypothèse est confirmée lorsque nos étudiants inscrits à notre cours d'introduction à l'animation ont à animer une balle ou un boulet de canon qui traverse l'écran. En se référant aux principes qui traitent de la fluidité du mouvement apparent (c'est-à-dire les principes n° 1, 6 et 9[31]), ces animateurs en herbe peuvent créer des animations de courte portée expressives. Nous avons toutefois observé que les erreurs les plus communes et frappantes qu'ils commettent résultent d'une méconnaissance de la physique newtonienne et de l'effet de la gravité sur les corps. La première erreur est que leur mouvement suit une trajectoire parabolique asymétrique, alors que la trajectoire doit être symétrique [32] (Lafrance et Parent, 2014, p. 99). En second lieu, l'animateur en herbe ne sépare pas le mouvement de l'objet sur l'axe horizontal (x) de son mouvement sur l'axe vertical (y). La figure 7.9 illustre la trajectoire qu'il faut respecter pour produire un mouvement conforme aux lois newtoniennes.

Figure 7.9 : Projectile

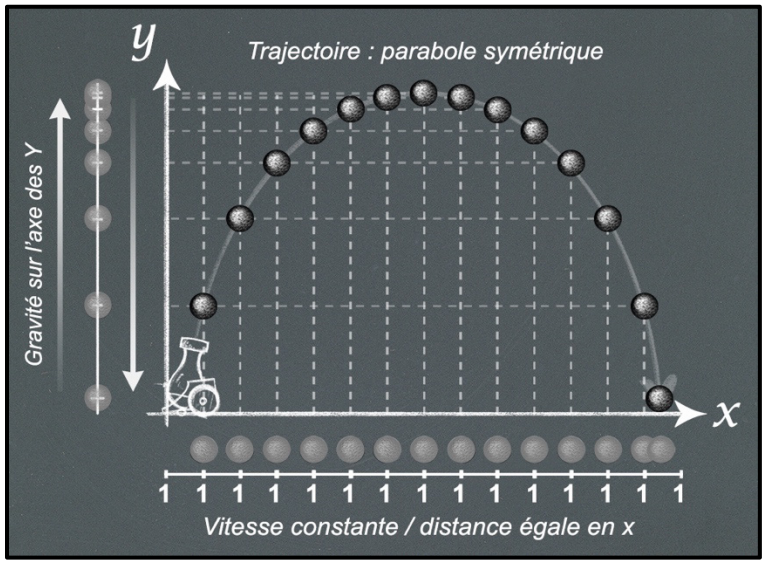


Image créée par l'auteur.

[31] Ces principes sont : la compression et l'étirement (n° 1), le *slow in and slow out* (n° 6) et le *timing* (n° 9).

[32] Pour qu'elle soit symétrique, la courbe du versant gauche de la trajectoire doit miroiter la courbe du versant droit.

Ces écarts sont causés en grande partie par une méconnaissance du phénomène physique représenté à la figure 7.10. À moins que le projectile ait peu d'inertie ou de masse (p. ex. une plume), l'effet de la résistance de l'air est négligeable. Par conséquent, la vitesse sur l'axe horizontal (x) varie selon la force de l'action, alors que la gravité opère sur l'axe vertical (y) et tire le corps vers le bas à une vitesse constante d'environ - 9,8 m/s. Ceci fait en sorte qu'un projectile (p. ex. balle ou flèche) touche le sol au même moment qu'il est tiré à l'horizontale ou qu'il est tout simplement lâché de la même hauteur. Puisque les projectiles suivent des trajectoires paraboliques, le principe des trajectoires arquées (n° 7) peut s'appliquer autant aux mouvements biologiques (chap. 6) que physiques. Vu l'importance évolutive de pouvoir détecter un mouvement biologique, nous supposons que le système perceptuel est en mesure de différencier la trajectoire parabolique d'un projectile inanimé d'une action arquée et animée.

Figure 7.10 : Gravité constante

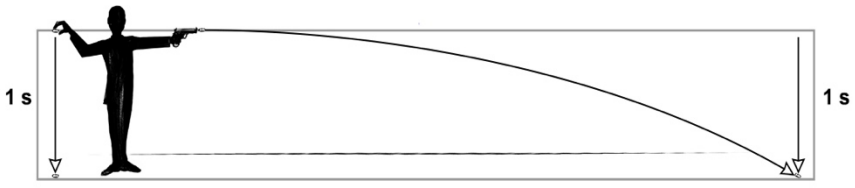


Figure créée par l'auteur.

Les erreurs gravitationnelles ne se limitent pas aux animations étudiantes. Dans son article « Why I Hate Superheroes » (2011), Scott Bukatman soutient que les films de superhéros souffrent d'un sérieux problème d'apesanteur, car les personnages de synthèse protoplasmiques semblent flotter. À titre d'exemple, il décrit une scène de combat, animée à l'ordinateur, entre Doctor Octopus et le protagoniste de *Spiderman 2* (Raimi, 2004). Puisque les corps des personnages ne semblent pas être affectés par la gravité, Bukatman observe que : « The sequence gives us corporeality without *corpus* » (Bukatman, 2011, p. 120). Nous partageons cet avis et croyons fermement que la représentation crédible des effets gravitationnels sur le corps ancre une scène animée dans la réalité. Cela dit, il n'y a pas que l'apesanteur et le *hyperreality paradox* de Michelle *et al.* (2017) (voir chap. 5) qui peuvent nuire à la crédibilité d'une scène et à l'intérêt que le public y porte. D'après Bukatman (2011), le fait de porter un masque sépare le corps inexpressif du superhéros de son visage, qui est expressif (p. 121). Bien qu'il n'approfondisse pas ce point, nous pensons qu'il identifie la seconde difficulté qui survient dans une scène d'action, celle du détachement émotionnel. Selon nous, tous les films d'action, qu'ils soient animés ou en PVR, risquent de perdre l'attention du public lorsque l'histoire et la dimension humaine sont sacrifiées pour l'artifice des effets visuels. Cette erreur survient généralement lors du combat final entre le héros et l'antagoniste. Bien que cette confrontation vise à représenter l'apogée du conflit entre les forces du bien et les forces du mal, elle devient rapidement ennuyante lorsque les explosions remplacent les visages. Ne voyant plus les

émotions et le drame exprimés en gros plan, la sympathie envers les personnages s'effrite et le public se désintéresse. Nous avons nous-mêmes éprouvé cette déconnexion émotionnelle en regardant *The Incredible Hulk* (Leterrier, 2008), *The Matrix Reloaded* (The Wachowskis, 2003), et *Thor* (Brannagh, 2011), pour ne citer que quelques exemples[33]. Pour régler ce problème, il suffit de briser la monotonie du spectaculaire et de reconnecter le public à la dimension humaine de l'histoire en montrant les visages, les émotions et les yeux des personnages en plans plus rapprochés. Le fait que *Thor : The Dark World* (Taylor, 2013), sorti deux ans après le premier film de la franchise, emploie cette stratégie, indique que certains réalisateurs hollywoodiens sont conscients du problème. Bien que cette astuce rappelle au spectateur qu'il y a des personnes au cœur du conflit pixélisé, elle ne ressoude cependant pas les problèmes narratifs qui accablent les films dans ce genre cinématographique. Le succès de certaines séries télévisées cultes, dont *Star Trek : The Original Series* (Roddenberry, 1966-1969) et *Babylon 5* (Straczynski, 1994-1998), démontre que nous faisons fi de la pauvre qualité des effets visuels lorsque les personnages et l'histoire sont intéressants. Il est ainsi sage de se rappeler qu'en fin de compte, ce sont les personnes et non les pixels qui sont importants[34].

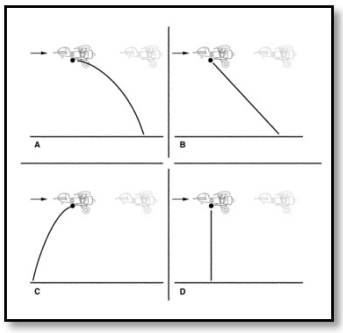
La force gravitationnelle est si importante à notre existence qu'elle influence comment nous percevons le monde et les animations que nous produisons. Il n'y a pas de doute que des animations qui ne respectent pas les lois de Newton minent la crédibilité d'une scène, mais nous ne pensons pas qu'elles causent autant de problèmes perceptuels que nous sommes amenés à croire. Dans un premier temps, les deux types d'erreurs commises par nos étudiants (c'est-à-dire des trajectoires asymétriques et un espacement inégal sur l'axe horizontal) sont peut-être dérangeants, mais l'effet ne détruit pas ce que nous surnommons : « l'illusion de la crédibilité ». En fait, nous observons année après année qu'il y a de fortes chances que seuls les animateurs aguerris perçoivent les fautes de ce type. Et dans les rares cas où elles sont détectées par le simple observateur, ce dernier soupçonnera qu'il y a quelque chose dans le mouvement qui ne marche pas tout à fait, mais il ne sera pas en mesure d'en identifier la cause. Si nous disposons d'un modèle gravitationnel interne, pourquoi ne sommes-nous pas perturbés par des animations qui enfreignent les lois de la physique ? Avant de répondre à cette question, il faut noter que la plupart des erreurs qui ont le pouvoir de briser l'illusion cinématographique dans un film professionnel sont si flagrantes qu'elles sont corrigées au préalable. Ceci inclut les erreurs jugées inacceptables, tels le *foot slip* et la pénétration, qui

[33] Nous éprouvons la même déconnexion émotionnelle lorsque nous regardons des désastres météorologiques aux nouvelles. La destruction d'infrastructure est évidemment terrible, mais sans la présence d'un être vivant dans la scène, nous ne ressentons pas les séquelles humaines de la tragédie.

[34] Pour que ce conseil essentiel soit plus accrocheur, il peut se traduire par « *people not pixels* » en anglais.

détruisent l'illusion de la crédibilité d'une scène animée en transgressant les axiomes du mouvement animé (voir chap. 4). Puisque le système perceptuel semble manifester le même type de tolérance catégorique pour les erreurs associées à la physique que pour les autres phénomènes, il est pertinent de réitérer la seconde question posée au début de cette section : à quel degré les mouvements animés doivent-ils être fidèles à la réalité pour fonctionner ? Nous avons proposé au début de ce chapitre que le degré de réalisme d'une animation est d'abord établi par le degré de réalisme de la forme qui est souvent déterminé par le genre cinématographique. Il est ainsi logique de proposer que certains genres, tel le *cartoon,* peuvent se permettre d'exagérer les phénomènes physiques, alors que les films situés en bas du versant figuratif de la pyramide de l'exagération doivent être beaucoup plus exacts dans leur représentation de phénomènes physiques. Bien que cette évaluation simpliste soit juste, elle ne suffit plus à élucider le rapport entre le degré de réalisme et l'exagération en animation, car l'émergence de nouvelles technologies virtuelles et immersives change la façon dont nous consommons et interagissons avec l'animation. Alors qu'un film traditionnel est perçu passivement d'un siège (Gibson, 2015 [1979], p. 282), l'immersion du spectateur dans un environnement virtuel le transforme en agent actif qui peut interagir directement avec les mouvements produits à la main par l'animateur, codés par un programmeur ou générés par un simulateur de physique. Ces nouvelles possibilités de consommation et d'interaction nécessitent-elles des animations plus réalistes ? Pour mieux comprendre le rapport entre la technologie, l'exagération et le réalisme, il faut examiner les trois représentations du mouvement identifiées par Bertamini *et al.* (2004). Celles-ci sont : 1) la conception abstraite d'un mouvement (p. ex. une trajectoire), 2) la perception du mouvement et 3) l'interaction avec le mouvement grâce au système perceptivo-moteur (p. ex. attraper une balle). Un survol des recherches portant sur le premier type cherche à déterminer si nos représentations mentales de la physique sont fidèles à la réalité. En d'autres mots, sommes-nous de bons théoriciens de la physique ? Le deuxième type de connaissance s'intéresse à la question : sommes-nous en mesure de différencier un vrai mouvement d'un faux ? Finalement, le troisième niveau explore le degré d'exactitude du système visuomoteur.

Figure 7.11 : Le problème de l'avion

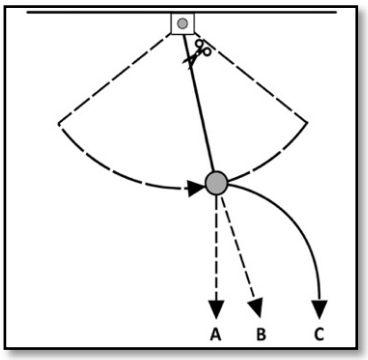


Réalisée par l'auteur, cette image est basée sur l'illustration de McCloskey (1983b).

7.3.4 Les représentations mentales et la physique naïve

En 1983, Michael McCloskey et d'autres chercheurs publient une série d'articles scientifiques qui démontrent que l'être humain n'est pas un très bon physicien quand il doit imaginer la trajectoire d'objets en mouvement. Une des premières expériences décrites par McCloskey est appelée « le problème de l'avion ». Il demande à 48 participants de tracer la trajectoire que suivra une balle lâchée d'un avion, en ignorant le frottement de l'air. Les résultats de l'expérience démontrent que seulement 40 % des répondants ont tracé la trajectoire réelle (option A) (McCloskey, 1983b, p. 4-5).

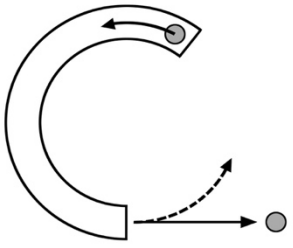
Figure 7.12 : Le problème du pendule



Réalisée par l'auteur, cette image est basée sur l'illustration de Kubricht *et al.* (2017, p. 350).

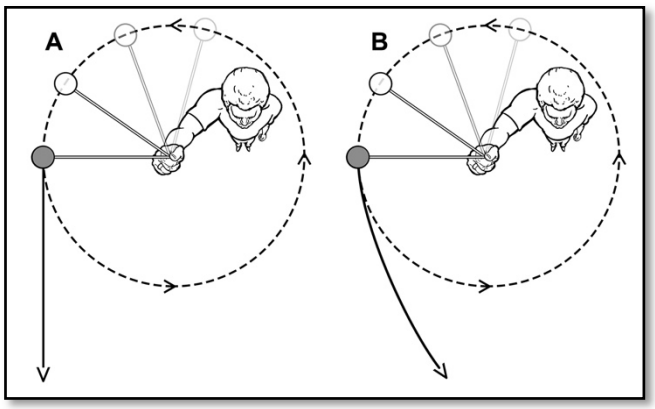
Le fait que nous ayons de la misère à imaginer la trajectoire réelle d'objets en mouvement ne se limite pas à cette expérience. Dans le problème du pendule, illustré à la figure 7.12 (Kubricht *et al.*, 2017, p. 350), une bille est attachée au bout d'un fil qui oscille de gauche à droite. Le participant doit tracer la trajectoire imaginaire qu'emprunte la bille lorsque le fil est coupé subitement à un moment précis pendant le mouvement. Caramazza *et al.* (1981) rapportent que seulement 25 % des participants testés produisent des réponses indiquant qu'ils ont une compréhension de base de la physique (p. 118). Dans l'exemple illustré à la figure 7.12, la trajectoire réelle de la bille est « C ». De surcroît, une petite portion des participants (~10 %) croit que la trajectoire de la bille continue de suivre son chemin pendulaire pendant un petit moment avant de chuter directement vers le bas, une fois que la force oscillatoire s'épuise et que de la gravité s'active (Green *et al.*, 1980, p. 10). Le problème du tube courbé démontre, illustré à la figure 7.13, démontre que nous avons aussi de la difficulté à prédire la trajectoire d'un objet soumis à une force centrifuge. Par conséquent, plusieurs participants croient que la bille sortant d'un tube courbé continue de suivre la trajectoire arquée (ligne pointillée), alors qu'elle va en ligne droite (ligne pleine).

Figure 7.13 : Le problème du tube courbé



Créée par l'auteur, cette figure est basée sur une image de Kubricht, Holyoak (Kubricht *et al.*, 2017, p. 350).

Figure 7.14 : Le problème de Thor



Cette image a été réalisée par l'auteur qui s'est inspiré de l'illustration de McCloskey (1983a, p. 128).

Similaire au problème du tube courbé est celui que nous avons illustré à la figure 7.14 et surnommé « le problème de Thor ». Un individu fait tourner autour de sa tête une balle attachée au bout d'un fil. Lorsqu'il lâche la corde, la balle emprunte une trajectoire qui suit la tangente de la trajectoire circulaire (fig. 7.14A). Pourtant, les prédictions de participants sont souvent incorrectes, car McCloskey (1983a, p. 128) démontre que 30 % des participants croient que la trajectoire sera légèrement courbée (fig. 7.14B).

McCloskey (1983a, 1983b) et ses collègues utilisent les adjectifs « intuitifs » ou « naïfs » pour décrire ces conceptions erronées de la physique. Ils proposent qu'elles ne sont pas aléatoires, mais se basent sur une théorie systématique similaire à la physique aristotélicienne et à la théorie médiévale de l'impetus (1983a, p. 122), attribuée au philosophe français Jean Buridan, au XIVe siècle (Vilain, 2006, p. 591). La théorie de l'impetus, qui porte aussi le nom de « la théorie de l'élan », se transforme au fil des ans, car son histoire est celle des progrès de la science avant Newton (Vilain, 2006, p. 593). Elle est parfois interprétée comme une force d'impulsion qui opère indépendamment de la force gravitationnelle et se dissipe avec le temps (McCloskey, 1983a, p. 123). Par conséquent, d'après la théorie qui est illustrée à la figure 7.15, un projectile, tel un boulet de canon, ne chutera qu'après que son impetus se soit dissipé (Kubricht *et al.*, 2017, p. 750).

Figure 7.15 : Théorie médiévale de l'impetus

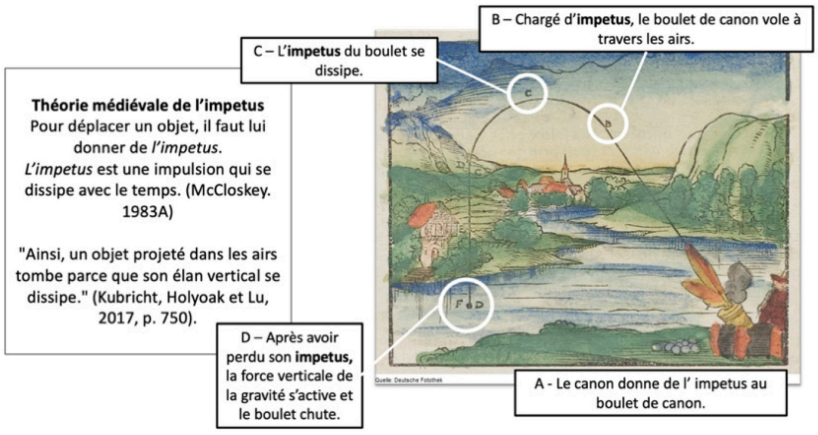


Illustration : Ballistik par Petrejus (1547)

Parmi les définitions de l'élan, celle de Léonard de Vinci (2008) mérite d'être mentionnée. Au XVe siècle, il décrit l'impetus comme étant : « […] a power created by movement and transmitted from the mover to the movable thing; and this movable thing has as much movement as the impetus has life » (p. 70). Bien que Vilain (2006, p. 593) précise que la théorie n'a pas de connotation animiste, il est clair que de Vinci la conçoit ainsi. Puisque l'impetus est selon de Vinci une force vivante qui meut un objet, l'élan présente de nombreuses similitudes avec l'esprit ou la force anthropomorphique qui animent les objets en animation. Dans ce sens, l'animateur confère de l'impetus à un objet pour le faire bouger (voir chap. 1), de la même façon qu'un Jedi de l'univers de *Star Wars* est en mesure de déplacer des choses avec « la Force »[35]. De surcroît, il est difficile de ne pas voir des parallèles entre la trajectoire représentée à la figure 7.15 et la façon dont la gravité est représentée dans un dessin animé de Wile E. Coyote. Dans ces courts-métrages réalisés par Chuck Jones, le Coyote, qui poursuit inlassablement le Road Runner, finit toujours par se lancer du rebord d'une falaise. Mais au lieu de tomber correctement en suivant une trajectoire parabolique (voir fig. 7.9), la force horizontale qui l'a propulsée dans les airs doit d'abord se dissiper comme le boulet de canon représenté à la figure 7.15. Le Coyote a ainsi le temps de réaliser son sort et de regarder la caméra avant que la force gravitationnelle s'active et provoque sa chute. En plus de la *schadenfreude*[36] suscitée par le malheur du Coyote, ce type de gag nous fait rire en partie parce que Jones met en scène une représentation caricaturale de nos croyances naïves. Par conséquent, bien que nous sachions très bien que la physique « jonesienne » est impossible d'un point de vue newtonien, elle possède néanmoins un air de vérité qui résonne à un niveau intuitif. L'humour serait ainsi causé par une dissonance entre nos expériences du monde et nos impressions naïves.

Les études portant sur la physique intuitive démontrent que nous sommes de pauvres théoriciens de la physique, mais que nous avons aussi des croyances naïves sur un ensemble de phénomènes, dont le comportement des fluides, de l'électricité, et de la lumière (Bertamini *et al.*, 2010; Bertamini *et al.*, 2003, 2004; Reiner *et al.*, 2000). Même nos proverbes et maximes reflètent une certaine naïveté[37], car, tout

[35] Nous suggérons que l'impetus et la Force de *Star Wars* sont des concepts similaires. En plus d'être associée à la fabrique panpsychique qui unit et habite toute chose, la Force a une dimension physique qui ressemble à l'impetus, car elle peut être employée pour déplacer des objets d'une manière naïve plutôt que newtonienne. Il est intéressant de constater qu'un objet qui est relâché de l'emprise mentale d'un Jedi a parfois tendance à chuter verticalement au sol exactement comme la trajectoire naïve représentée à la figure 7.15. Il faut toutefois noter que la Force est un concept cinématographique dont l'effet varie selon les exigences de la scène et l'artiste qui l'anime, alors que l'impetus est un concept scientifique pré-newtonien.

[36] De l'allemand *schaden* pour « malheur » (*harm*, en anglais) et *freude* pour « joie », le *schadenfreude* décrit le sentiment de joie causé par le malheur des autres (van Dijk et Ouwerkerk, 2014, p. 1). Ce sentiment peut expliquer l'humour *slapstick* typique des *cartoons* et des films muets (p. ex. Charlie Chaplin, Buster Keaton, Harold Lloyd, etc.).

[37] La branche de la psychologie s'intéressant aux proverbes s'appelle la psychologie du sens commun (Jacob, 1993) ou *folk psychology*, en anglais (VandenBos, 2007, p. 383).

comme les métaphores (chap. 1 et 3) et les explications anthropomorphiques (chap. 6), ils nous aident à comprendre le monde en termes simples. Comment se fait-il que nos croyances soient aussi inexactes ? Les scientifiques ont continué d'étudier la physique naïve depuis la publication des articles de McCloskey *et al.* (Caramazza *et al.*, 1981; McCloskey, 1983a, 1983b; McCloskey *et al.*, 1980; McCloskey *et al.*, 1983). Leurs expériences indiquent que la connaissance intuitive du mouvement est un peu plus fragmentaire ou segmentée que les modèles médiévaux. En fait, nos conceptions intuitives de la physique ne sont pas toujours fausses. Il existe présentement deux types de modèle qui cherchent à expliquer comment nous conceptualisons le mouvement. Ces derniers sont soit d'une nature bayésienne ou heuristique.

7.3.5 Les modèles bayésiens et heuristiques

D'après les modèles bayésiens[38], qui peuvent aussi être qualifiés d'indirects et de computationnels (voir chap. 1), le système perceptuel traite l'information de manière probabiliste et optimale, comme un ordinateur, pour inférer ce que nous percevons (Bowers et Davis, 2012, p. 389). Puisque les stimuli visuels qui tombent sur la rétine sont incomplets et peuvent être interprétés de multiples façons, notre système doit évaluer les informations sensorielles et former une série d'hypothèses pour déterminer ce qui est perçu. Appelées inférences perceptuelles par Helmholtz (Gregory, 2015 [1997], p. 2), ces hypothèses sont constamment réévaluées au fur et à mesure que nous avons plus d'informations. Le processus d'inférences bayésiennes est optimisé par le fait qu'un bon nombre de possibilités peuvent être écartées rapidement, car certaines propriétés dans l'environnement sont stables. Les percepts improbables sont ainsi éliminés le plus vite possible sur une base probabiliste jusqu'à ce que le système perceptuel rende sa décision et qu'un percept final soit choisi (Feldman, 2015). Une tache jaune qui traverse le champ visuel, par exemple, peut être un oiseau (p. ex. un canari), un tissu coloré (p. ex. un drapeau, mouchoir, écharpe, etc.), ou une balle. Toutefois, puisque nous assistons à un match de tennis, les deux premières options sont écartées immédiatement et nous concluons qu'il s'agit d'une balle de tennis. Un exemple un peu plus élaboré du processus se produit lorsque nous nous intéressons à quelqu'un qui marche au loin. Généralement, la première chose que nous essaierons d'établir est si la personne s'éloigne ou s'approche de nous. Initialement, nous ne le savons pas, car la silhouette est au bout de la rue. Il est par conséquent

[38] L'informaticien et philosophe israélo-américain Judea Pearl nomme l'approche probabiliste et causale « bayésienne », parce que Thomas Bayes (1702-1761), un mathématicien et pasteur anglais, énonce une formule dans les années 1750 qui permet de déterminer la probabilité d'une cause à partir d'un effet (Pearl et Mackenzie, 2018, p. 95-97). En fait, craignant les répercussions théologiques d'une formule qui puisse réfuter la véracité de phénomènes religieux (p. ex. le miracle de la résurrection du Christ), Bayes ne publie pas l'article présentant son énoncé de son vivant. Après la mort de Bayes, le pasteur Richard Price trouve l'article dans les correspondances de son ami et publie « An Essay towards solving a Problem in the Doctrine of Chances » dans *Philosophical Transactions of the Royal Society of London* (Bayes, 1763).

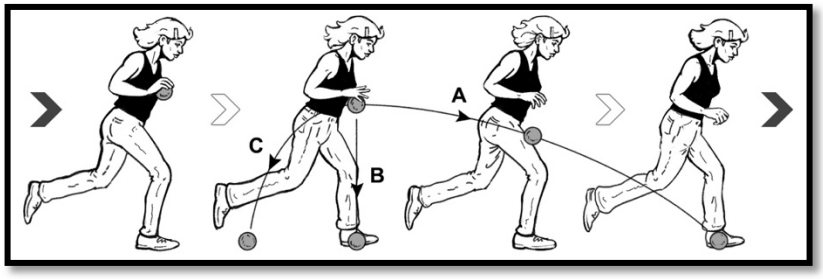
difficile d'évaluer si la taille de l'individu grossit (c'est-à-dire si elle s'approche) ou rétrécit (s'éloigne). De plus, la chaleur des rayons de soleil brouille l'air à la surface du trottoir brûlant, ce qui nous empêche de voir ses pieds. Il est toutefois possible de voir après quelques instants que la personne vient vers nous. Ensuite, voulant l'identifier, nous chercherons peut-être à déterminer son sexe biologique. Comme nous avons vu au chapitre précédent lorsqu'il était question des PLD, nous pouvons extraire ce type d'information en détectant certaines particularités cinétiques qui se manifestent dans le mouvement biologique d'un individu. Après un moment, nous inférons à partir de sa démarche qu'il s'agit probablement d'une femme. En dernier lieu, puisque nous sommes sur la rue de notre domicile, nous tentons de déterminer si nous la connaissons. Nous élimons la possibilité qu'il s'agisse de notre voisine de palier, car la marcheuse est trop jeune et porte un chapeau, alors que notre voisine n'en porte jamais. Lorsque nous pouvons finalement voir son visage, nos dernières hypothèses sont écartées, car il n'y a plus de doute quant à son identité. Il s'agit de la fille du couple qui demeure au coin de la rue.

L'inférence bayésienne a été développée en vision artificielle (*computer vision*). Cette branche des sciences informatiques développe des systèmes (machines, programmes, modèles, etc.) capables d'effectuer des tâches visuelles, dont l'identification des objets présents dans une scène visuelle (image ou vidéo) pour permettre à un robot de naviguer à travers un environnement (Ballard et Brown, 1982, p. xiii; Frisby et Stone, 2010, p. 7). Après avoir prouvé leur valeur dans un contexte computationnel, ces modèles sont désormais employés pour étudier la perception humaine (Knill *et al.*, 1996, p. 1). Sanborn *et al.* (2013), par exemple, utilisent un modèle statistique bayésien appelé « The Noisy Newton Framework » pour expliquer le fonctionnement de nos prédictions mentales. Mais, comme nous l'avons noté à travers cette thèse, même si les modèles computationnels peuvent simuler des tâches perceptuelles et aider les chercheurs à comprendre la perception, le système visuel n'est pas un ordinateur, mais un organe biologique (Cobb, 2020, p. 4; Proffitt et Baer, 2020, p. 80). Les critiques de l'approche bayésienne, dont Bowers et Davis (2012), croient donc que la perception est beaucoup moins efficace que ces modèles probabilistes le supposent, car elle utilise le même type d'heuristiques approximatives qui ont été proposées par Anstis et Ramachandran (1986) pour expliquer le mouvement apparent. Comme nous l'avons décrit au chapitre 4, ces règles ne sont pas des lois absolues, mais sont plutôt des astuces tolérantes et adaptables. Il ne faut toutefois pas confondre cette souplesse pour de l'inefficacité, car même si elles n'opèrent pas avec la rigueur optimale et mécanistique du théorème de Bayes, ces heuristiques nous permettent de déterminer rapidement ce que nous voyons. Le fait que les procédés cognitifs soient plus heuristiques que bayésiens pourrait expliquer la naïveté de nos prédictions mentales.

Si nos croyances et nos prédictions cinétiques sont souvent erronées, ce n'est pas parce que nous manquons d'intelligence. Elles sont naïves, car les heuristiques cognitives ne reposent pas sur des théorèmes et formules mathématiques, mais sont plutôt basées sur notre bagage culturel et sur nos propres observations subjectives, profanes et expérientielles du monde en tant que créatures terrestres. Par exemple, avant d'être exposés à la science et à la physique, nous croyions que nous vivions sur une surface plane, car, de notre point de vue, tout indiquait que la Terre était effectivement plate. Avant de pouvoir commencer à comprendre la physique, il fallait que la Terre soit recatégorisée comme un objet astrologique sphérique flottant dans l'espace. Bien que ce changement de paradigme ontologique important se produise entre la troisième et la cinquième année du primaire (Vosniadou et Skopeliti, 2014, p. 1428-1429), il est quand même difficile d'appréhender un tel concept abstrait et de comprendre les lois newtoniennes et les mécanismes physiques, car celles-ci sont parfois contre-intuitives et ne concordent pas avec ce que nous voyons de nos propres yeux. En fait, la complexité des phénomènes physiques explique pourquoi il a fallu attendre les écrits de scientifiques, tels Newton, Copernic, Galilée, et éventuellement Einstein et Planck, avant d'élucider les forces qui gouvernent notre univers. La nature heuristique, plutôt que bayésienne, de la cognition peut expliquer les résultats d'études récentes qui remettent en question les résultats des expériences classiques que nous venons de décrire. Il s'avère que la naïveté ou la fausseté de nos prédictions dépend de la situation que nous devons imaginer.

Nos prédictions ont tendance à être plus factuelles lorsque le problème est abstrait et sont plus naïves lorsque nous devons imaginer un scénario où l'objet qui tombe est porté puis relâché par un autre objet (McLaren, I. P. *et al.*, 2013). Si nous demandons, par exemple, à quelqu'un d'imaginer la trajectoire d'une balle échappée par un individu ou à partir d'un véhicule en mouvement (p. ex. à la course, à bicyclette, d'une voiture, en avion, etc.), nous avons tendance à croire que l'objet chutera vers le sol en ligne droite (sans emprunter de trajectoire parabolique), car, lorsque nous sommes nous-mêmes en mouvement et que nous lâchons un objet, ce dernier semble chuter verticalement de notre point de vue (voir fig. 7.16B). D'après cette hypothèse, le degré d'exactitude des

Figure 7.16 : Trajectoire naïve



Cette figure a été réalisée par l'auteur qui s'est basé sur une illustration dans McCloskey (1983a, p. 123)

prédictions que nous formons dépend de nos propres souvenirs et nos propres expériences subjectives du monde. En animation, la nature naïve de nos représentations mentales soulève un ensemble de questions importantes quant au degré de réalisme des mouvements représentés. Avant d'animer, une animatrice trace généralement une trajectoire pour planifier et cartographier les différentes positions qu'il faudra créer pour représenter à l'écran le mouvement désiré. Même si l'animatrice ne trace pas de trajectoire sur une feuille de papier, elle se fait néanmoins une représentation mentale du mouvement qu'elle souhaite représenter. Si nos représentations mentales des mouvements sont naïves et fausses, la trajectoire utilisée comme repère risque également d'être fausse. Et si les mouvements animés sont créés par des animatrices naïves pour des spectateurs naïfs, se pourrait-il que le mouvement animé soit naïf et donc irréaliste par nature ? Pour répondre à cette question fondamentale quant à la nature du mouvement animé, il faut déterminer si le système perceptuel est en mesure de différencier un mouvement newtonien et véridique d'un mouvement naïf qui ne l'est pas. En d'autres mots, il est important de déterminer si la perception peut détecter un faux mouvement, car si elle ne le peut pas, une animation n'a pas besoin d'être réaliste pour fonctionner.

7.4 La cape de la crédibilité

Kaiser *et al.* (1992) démontrent que le système perceptuel est capable de distinguer un mouvement réel d'un mouvement naïf, mais seulement lorsque l'action est simple et n'a qu'un seul paramètre dynamique. Nous pouvons donc détecter une erreur dans la trajectoire d'un objet en chute libre (voir fig. 7.17A). Mais si, en plus de tomber vers le bas (paramètre 1), cet objet tourne aussi autour de lui-même comme une toupie (fig. 7.17B), notre capacité à différencier un vrai mouvement d'un faux est affaiblie. Ces savants cherchent également à déterminer si la perception est aussi naïve que nos prédictions mentales. Ils créent donc des séquences animées illustrant les différentes situations testées par McCloskey *et al.* (1983), dont le « problème de l'avion » décrit ci-dessus. Ils montrent ces vidéos à des participants et découvrent que ces derniers préfèrent généralement les mouvements newtoniens aux animations qui illustrent nos prédictions erronées. Les résultats de cette étude peuvent expliquer pourquoi ce ne sont pas toutes les erreurs commises dans les animations décrites plus tôt qui nous dérangent.

Figure 7.17 : Acuité du système perceptuel

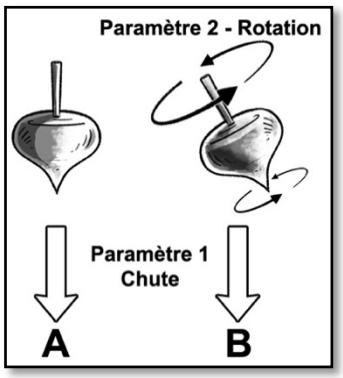


Image réalisée par l'auteur qui s'est inspiré de Kaiser et al. (1992, p. 670)

Nous avons noté que les erreurs gravitationnelles sapent la crédibilité d'une animation. Le premier

exemple que nous avons décrit est celui d'une balle qui traverse l'écran en rebondissant. Avant que nos étudiants ne réalisent l'animation, ils tracent une trajectoire sur laquelle ils marquent la position des intervalles. Puisque nos représentations mentales de la physique ont tendance à être incorrectes, il est probable que les étudiantes aient employé des trajectoires fausses. En revanche, une fois que l'étudiante finit son animation et la regarde pour la première fois, il se peut qu'elle remarque les erreurs qu'elle a commises, car sa perception de la physique est plus exacte que ses conceptions abstraites de celle-ci. Il faut toutefois noter qu'il y a aussi des chances que les erreurs passent inaperçues, car le mouvement est constitué de deux paramètres : 1) la vitesse horizontale qui est constante et 2) la force de la gravité qui agit sur l'axe vertical. Donc, même un mouvement qui semble relativement simple peut occasionner des écarts de réalisme selon la sensibilité newtonienne du système perceptuel de l'observateur et de l'animatrice. Si notre sens du réel est beaucoup moins raffiné lorsqu'un mouvement est composé de variables dynamiques, comment se fait-il que les erreurs gravitationnelles présentes dans des animations d'effets visuels minent la crédibilité d'une scène ? Puisque ces animations sont complexes et composées de nombreux paramètres dynamiques, il serait logique de supposer que l'animatrice n'ait pas besoin de suivre strictement les règles de la physique. Mis à part le problème de la déconnexion émotionnelle décrite plus tôt, nous proposons qu'une scène d'action ne fonctionne plus sur le plan perceptuel lorsqu'elle a franchi ce que nous nommons le « seuil de la crédibilité ».

Pour qu'une scène, action ou situation invraisemblable (p. ex. un combat entre deux superhéros qui volent) soit acceptée par le public, nous postulons que l'animatrice doit s'assurer que la physique des mouvements ou phénomènes simples et familiers soit représentée de manière réelle et newtonienne. Si la cape et les cheveux de Superman battent au vent de manière crédible, par exemple, le public sera prédisposé à accepter le fait qu'une personne soit capable de voler de son propre gré (voir fig. 7.18). Dans la même image, Krypto vole aussi, mais l'action impossible est normalisée du fait qu'il se comporte comme n'importe quel chien normal. Il est ainsi aux pieds de son maitre, il halète et sa queue frétille. En utilisant la physique réelle pour légitimer le fantastique, nous croyons que l'animatrice emploie une stratégie perceptuelle que nous surnommons « la cape de la crédibilité ».

Figure 7.18 : La cape de la crédibilité

Dessin réalisé par l'auteur.

Figure 7.19 : Aquaman

Dessin réalisé par l'auteur.

Cette approche n'est pas limitée aux personnages qui volent ou portent des capes, mais s'applique à toute situation animée qui met en scène des choses exceptionnelles ou inusitées. Dans *Aquaman* (Wan, 2018), par exemple, nous acceptons que les Atlantes puissent nager comme des poissons et respirer sous l'eau, car leurs cheveux flottent de manière familière et des bulles d'air se comportent comme de vraies bulles d'air (voir fig. 7.19). La cape de la crédibilité repose ainsi sur une représentation réaliste de la physique de l'ordinaire, du banal, et des choses simples. Il se peut toutefois que la cape de la crédibilité ne se rattache qu'aux mouvements qui sont perçus par un spectateur passif, car, à la différence des conceptions abstraites qui sont naïves, nos actions sont déterminées par la physique du réel et nous permettent d'interagir directement avec les phénomènes complexes et dynamiques qui nous entourent (Bertamini *et al.*, 2004, p. 34). Nous sommes ainsi capables de frapper ou d'attraper une balle qui nous est lancée, en dépit du fait que la trajectoire que nous aurions tracée du même mouvement aurait probablement été erronée. Ceci est dû au fait que le système visuomoteur est le plus fiable des trois représentations du mouvement en ce qui concerne sa capacité à interagir adéquatement avec des mouvements réels et newtoniens. Il est possible que cette fidélité s'explique par son association à la voie dorsale (p. 33) qui, comme nous l'avons vu au chapitre 2, contrôle nos actions corporelles ainsi que la perception du mouvement (Milner et Goodale, 2006). En d'autres mots, nos conceptions mentales sont abstraites et naïves, alors que nos actions sont régies par un système qui a évolué pour interagir en temps réel avec des phénomènes produits par les forces newtoniennes de notre environnement.

Ayant déterminé que nos conceptions mentales sont discutables en matière de réalisme, que notre perception est moyenne et que nos actions sont newtoniennes, il est temps de revenir à la question portant sur le degré d'exagération ou de réalisme nécessaire en animation. Puisque nos représentations mentales de la physique sont souvent fausses, il est fort probable que l'animatrice utilise consciemment ou inconsciemment des trajectoires naïves pour produire des mouvements qui ne respectent pas les lois de Newton. Puisque le système perceptuel du spectateur est naïf lui aussi, il y a des chances que l'observateur passif ne remarque pas l'erreur. L'animatrice doit toutefois s'assurer que les actions simples et familières soient réalistes tout en portant une attention aux phénomènes gravitationnels, car ces derniers peuvent saper la crédibilité d'une animation s'ils sont détectés. Il est ainsi important de bien utiliser les principes d'animation associés à la physique élémentaire. Le *follow through and overlapping*

action (principe n^{o} 5) est particulièrement utile pour animer la physique des éléments familiers associés à la cape de la crédibilité. De plus, le concept du tempo de McLaren, ainsi que les principes du *slow in and slow out* (n^{o} 6), du *timing* (n^{o} 9) et des *arcs* (n^{o} 7) servent à bien représenter la masse et la vitesse. Une fois que l'animatrice s'est assurée que les éléments plus simples ont été représentés de manière convaincante, les actions exceptionnelles, comportant plusieurs paramètres dynamiques, peuvent être plus cartoonesques ou exagérées, car l'habileté d'un observateur passif de discriminer entre un vrai mouvement et un faux diminue plus le phénomène dépasse les limites de notre expérience subjective. Après tout, nos expériences du monde sont relativement limitées. Nous sommes des créatures terrestres sujettes aux forces gravitationnelles. Par conséquent, nous n'avons jamais volé comme Superman, nous sommes incapables de respirer sous l'eau comme Aquaman et nous n'avons généralement pas la chance de flotter dans l'espace et de ressentir l'apesanteur. En fait, nous ne pouvons même pas sauter très haut. Bien que nos expériences physiques soient limitées, notre imagination est presque illimitée. Nous pouvons donc représenter toutes ces actions et bien d'autres au cinéma. Par conséquent, lorsque quelque chose d'incroyable et d'inhabituel doit figurer à l'écran, l'animatrice a la tâche de représenter un phénomène avec lequel elle n'est pas familière et que le spectateur n'a jamais vécu. En utilisant les principes d'animation et ses propres expériences à titre d'animatrice et d'être humain, elle peut créer une expérience perceptuelle qui sera probablement assez convaincante pour franchir le seuil de la crédibilité du spectateur naïf. Il existe toutefois un facteur important qui pourrait nécessiter l'emploi d'animations mimétiques : puisque le système visuomoteur est capable d'interagir avec des phénomènes newtoniens, il est capable d'identifier un mouvement naïf. Par conséquent, nous proposons que les animations produites pour la réalité virtuelle devront fort probablement être aussi réalistes que possible. L'utilisateur actif pourra ainsi interagir naturellement avec les phénomènes dans l'environnement, alors que les animations visionnées passivement peuvent être aussi exagérées que la réalisatrice le souhaite. Il faut aussi noter que la complexité des effets visuels déployés dans un film hollywoodien fait en sorte qu'il est tout simplement impossible pour un animateur de les concevoir et de les animer sans l'aide d'un logiciel et d'algorithmes complexes. Les moteurs de jeu et les logiciels, tel Houdini, utilisent la physique réelle et les modèles bayésiens pour calculer la causalité, les collisions, les particules et phénomènes dynamiques pour produire des effets réalistes en temps réel. Par conséquent, bien que la perception soit probablement heuristique, nous pouvons recréer des phénomènes visuels à l'aide des moteurs de jeu et des logiciels qui sont bayésiens. Les deux approches sont ainsi complémentaires et doivent être employées de concert pour représenter la gamme de phénomènes que l'animatrice aura à produire dans un futur où l'animation n'est plus limitée à l'écran.

Puisque l'accent est souvent placé sur le personnage (c'est-à-dire son apparence, la fluidité de ses mouvements, la qualité de la performance dramatique, etc.), le rôle de l'environnement est souvent négligé en animation. Pourtant, ce sont les règles physiques du monde cinématographique qui influencent en grande partie comment seront illustrés certains types de mouvements et de phénomènes. Bien que les mondes fictifs soient généralement gouvernés par les mêmes lois et principes fondamentaux qui déterminent notre réalité, le cinéma et l'animation en particulier ont aussi la capacité de représenter des univers différents du nôtre. Il est ainsi possible de représenter des dragons qui volent et crachent du feu, des elfes et sorcières qui lancent des sorts et des superhéros dotés de pouvoirs extraordinaires. Comme nous venons de décrire, la cape de la crédibilité peut aider l'animatrice à franchir le seuil de la crédibilité en représentant ces phénomènes exceptionnels de manière convaincante, mais existe-t-il un concept qui englobe le fait que le spectateur/participant et l'environnement fictif forment un système dynamique qui, avec l'immersion, devient de plus en plus interdépendant ? Voulant examiner ce rapport qui comporte les quatre paliers de l'animation décrits à travers cette thèse, nous souhaitons terminer ce chapitre ainsi que cette thèse en présentant une théorie qui s'inspire de l'*Umwelt*, un concept formulé dans les années 1930 et 1940 par Jakob von Uexküll (1864-1944), un biophilosophe allemand, originaire de la Baltique.

7.5 L'*Umwelt* animé

Comme nous l'avons décrit au chapitre 1, la perspective gibsonienne propose que le système visuel et l'environnement sont intimement liés à un niveau élémentaire. Puisque les informations sensorielles sont traitées directement sans l'aide de procédés cognitifs de haut niveau, même l'organisme le plus simple est en mesure de percevoir, de se déplacer et d'interagir avec les éléments présents dans un environnement dynamique sans avoir recours à un système cognitif sophistiqué. Le système visuomoteur de chaque espèce est ainsi le produit d'échanges dynamiques et rétroactifs entre les facteurs écologiques et des procédés évolutifs. Pour illustrer comment l'environnement influence notre perception du monde, prenons l'exemple du spectre visible qui désigne la fine tranche du spectre électromagnétique émis par le soleil que nous pouvons voir (voir chap. 2). L'adjectif « visible » est toutefois anthropocentrique, car il suggère que le reste du spectre électromagnétique est invisible. Ce n'est pourtant pas le cas pour certains animaux qui perçoivent des parties du spectre que les humains ne peuvent pas voir à l'œil nu. Par exemple, plusieurs reptiles, au moins 35 espèces d'oiseaux diurnes, les poissons, dont les guppys et les poissons rouges, et quelques espèces d'amphibiens sont en mesure de voir les rayons ultraviolets (Honkavaara *et al.*, 2002, p. 505). À moins de porter des lunettes spéciales qui détectent la chaleur, nous sommes aussi incapables de voir les rayons infrarouges, qui ont des ondes plus longues que celles du spectre visible. Il

n'en est pas ainsi pour les pythons, les boas et les serpents à sonnette qui peuvent détecter la chaleur de leur proie à l'aide de fossettes thermosensibles[39] (Chippaux, 2002, p. 39). Ces exemples et bien d'autres[40] démontrent que les facteurs environnementaux peuvent complètement changer la façon dont un organisme voit ou perçoit le monde. Nous n'avons pas insisté sur le lien intime entre la perception et notre milieu écologique, car cette thèse porte principalement sur les principes perceptuels élémentaires, et regarder un film demeure traditionnellement un acte passif qui requiert peu d'interactions avec notre environnement. Toutefois, maintenant qu'il est question du rôle des forces physiques sur les mouvements des personnages animés, il est pertinent de présenter le concept de l'*Umwelt*, car nous croyons qu'il peut nous aider à comprendre comment les règles établies et suivies par l'animateur peuvent créer des environnements fantastiques qui demeurent crédibles et compatibles avec le degré d'immersion (passive ou active) de la spectatrice ou du joueur.

S'inspirant de la musique orchestrale, Uexküll propose qu'il existe un réseau fonctionnel harmonieux qui connecte chaque organisme à son environnement (Sagan, 2013, p. 5). Contribuant à une symphonie céleste (p. 7), chaque membre de cet orchestre écologique est une sorte d'instrument qui vit dans sa propre bulle sensorielle. Formé pour s'accorder aux tonalités produites par les autres créatures et facteurs environnementaux, cet univers sensoriel qu'Uexküll nomme *Umwelt* détermine comment chaque espèce et même chaque individu voit et interagit avec son environnement[41]. Uexküll décrit comment les différents *Umwelts* opèrent et s'harmonisent à l'aide de l'exemple suivant :

> We begin such a stroll on a sunny day before a flowering meadow in which insects buzz and butterflies flutter, and we make a bubble around each of the animals living in the meadow. The bubble represents each animal's environment and contains all the features accessible to the subject. As soon as we enter into one such bubble, the previous surroundings of the

[39] Situés entre les narines et les yeux du serpent, juste au-dessus de la bouche, ces organes (appelés *pit organs*, en anglais) sont des petites cavités dont la paroi interne est recouverte d'une membrane étroite contenant des axones thermosensibles. Le serpent à sonnette possède 7,000 axones thermosensibles par cavité. Newman et Hartline (1982, p. 119-120) comparent ces cavités à des sténopés qui, placées devant et dessous les yeux, aident le serpent à sonnette à trouver et attaquer sa proie dans le noir grâce à la chaleur qui émane de cette dernière.

[40] Parmi les nombreux exemples de dimensions sensorielles auxquelles nous n'avons pas accès, il y a le fait que les humains sont incapables de voir la couleur la nuit, mais les geckos nocturnes (Roth et Kelber, 2004) et les achérontias, une espèce de papillon de nuit (Kelber *et al.*, 2003), possèdent cette habileté. De plus, les dauphins et les chauves-souris peuvent employer l'écholocalisation pour sonder leur environnement grâce aux sons qu'ils émettent (Jones, G., 2005). Enfin, les abeilles ne voient pas le rouge, mais voient plutôt l'ultraviolet qui leur permet de voir le soleil même s'il est caché (Fiolhais, 2016, p. 28).

[41] Bien que la théorie de Uexküll prédate la perspective gibsonienne d'une vingtaine d'années, elles sont assez similaires pour que nous puissions les comparer. Uexküll croit que chaque chose produit un *effect image* qui a une certaine tonalité. Le *effect tone*, produit par le *effect image*, est comparable à l'affordance gibsonienne, car les deux phénomènes décrivent l'action ou l'utilité potentielle qu'une certaine chose représente pour un organisme en particulier. Par exemple, pour un être humain, une chaise produit un *sitting tone*, alors que plusieurs choses possèdent le *sitting tone* pour un chien, car ce dernier peut s'asseoir n'importe où (von Uexküll, 2013 [1934], p. 92-98).

> subject are completely reconfigured. Many qualities of the colorful meadow vanish completely, others lose their coherence with one another, and new connections are created. A new world arises in each bubble. (von Uexküll, 2013 [1934], p. 43)

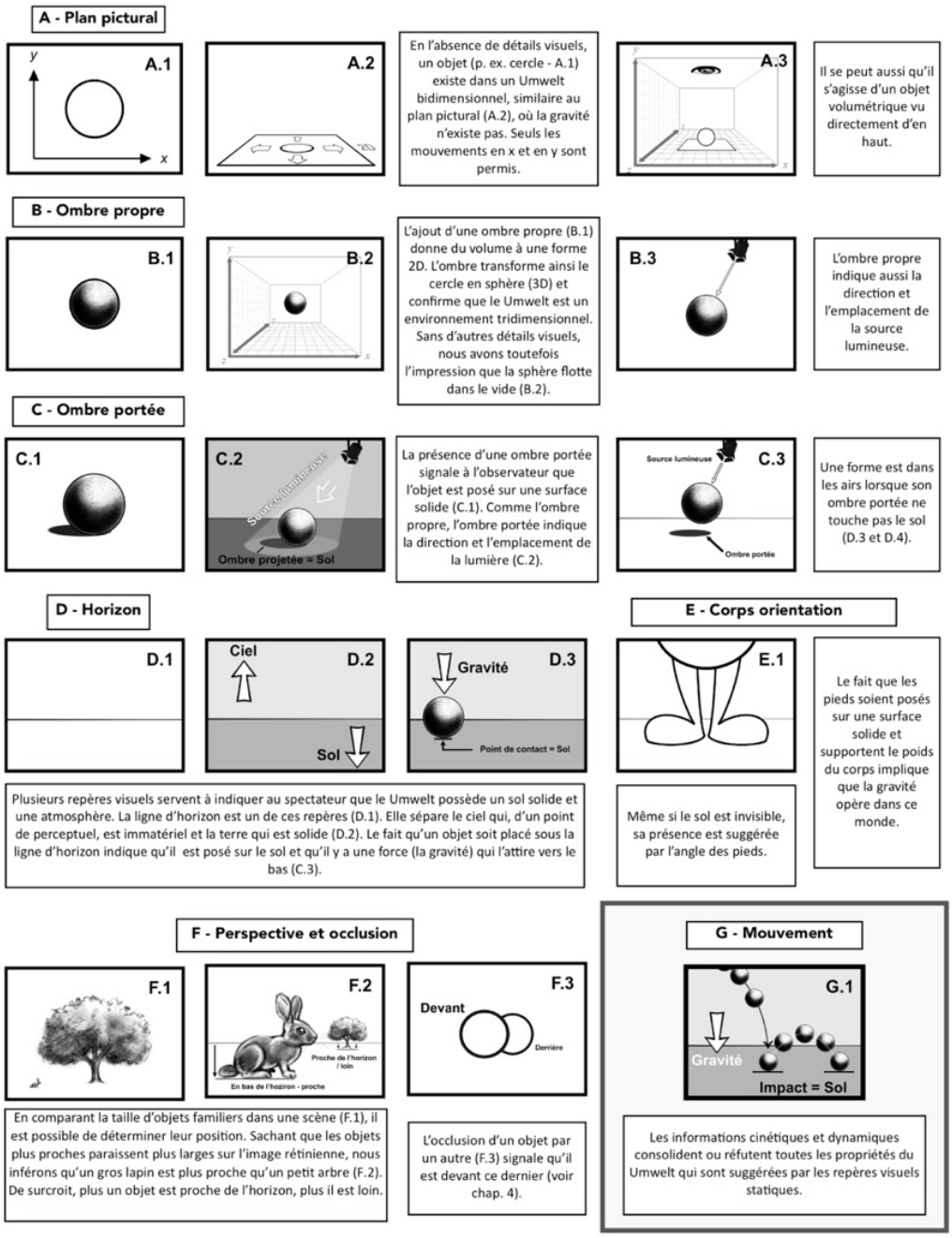
En plus d'avoir de fortes connotations musicales[42] (p. 172), un autre aspect intéressant de la théorie de l'*Umwelt* est qu'elle a une dimension temporelle qui s'apparente à la cadence filmique[43]. Citant à l'appui des recherches menées par des savants allemands, von Uexküll décrit le fait que certains poissons prédateurs perçoivent le monde au ralenti, car cette « cadence » élevée leur permet d'attraper leurs proies qui bougent rapidement. À l'inverse, il affirme que les escargots ne perçoivent que les mouvements lents (moins de ¼ par seconde), car ces derniers correspondent à la vitesse de la végétation dont ils se nourrissent (von Uexküll, 2013 [1934], p. 70-72). Bien que Pollmann (2013, p. 801) souligne les erreurs de raisonnement commises par Uexküll à ce sujet, il est intéressant de considérer l'idée que chaque *Umwelt* opère à une certaine cadence perceptivo-biologique déterminée par les interactions entre la créature et les éléments dans son habitat. Puisque les arts sont conçus pour stimuler les sens primaires de notre espèce, il est fascinant d'imaginer quelles formes artistiques d'autres espèces animales pourraient créer, car leur *Umwelt* sensoriel est si différent du nôtre. Par exemple, nous avons déjà noté au chapitre 3 que les étourneaux projetteraient des films à des cadences de 100 Hz et plus, car leur seuil de fusion du papillotement est beaucoup plus élevé que le nôtre (Maddocks *et al.*, 2001, p. 315). Nous pourrions aussi imaginer que les films produits par une mouche auraient, à nos yeux, le même rythme frénétique qu'un film des Keystone Kops (voir chap. 5), car, d'après Anstis (2015, p. 3), ces insectes ne perçoivent pas les mouvements lents. Ce film semblerait cependant tout à fait normal pour la mouche qui vit à cette cadence. Puisque le cinéma a la capacité de modifier notre perception du monde, nous estimons, comme Pollmann (2013) citant le travail de Walter Benjamin, que le cinéma est « simultaneously *of* this world and *a* world; what we see is another *Umwelt* within our *Umwelt* » (p. 782). En reprenant et développant la thèse formulée par Pollmann dans l'article « Invisible Worlds, Visible: Uexküll's Umwelt, Film, and Film Theory », nous postulons que chaque film représente un *Umwelt* particulier dont les règles ont été conçues par ses

[42] Le rôle de la musique est capital pour Uexküll qui croit que le *Umwelt* est comparable à une mélodie qui émerge des échanges dynamiques et intimes entre une créature et son environnement.

[43] Les parallèles entre le *Umwelt* d'Uexküll et le cinéma ne se limitent pas à la cadence. Selon Pollmann (2013), Uexküll s'inspire du travail d'Étienne-Jules Marey, l'inventeur de la chronophotographie (voir chap. 1 et 2), avec lequel il étudie pendant deux mois à Paris (p. 788). Le cinéma et la chronophotographie de Marey sont importants pour le concept du *Umwelt*, car ils rendent visible ce que la perception humaine ne voit pas et révèlent pour la première fois que les mouvements des animaux sont extrêmement différents des nôtres. Uexküll découvre, par exemple, que l'étoile de mer se déplace d'au moins deux façons différentes à l'aide de ses cinq jambes, selon l'environnement et les circonstances (p. 789-770). Pollmann (p. 791) note que Uexküll interprète cette découverte différemment de Marey qui, étant un tenant de l'approche indirecte de Helmholtz, croit que les mouvements sont produits par des procédés de haut en bas détachés du monde organique. Pour Uexküll par contre, ces mouvements résultent du rapport direct entre l'animal et son environnement.

créateurs pour communiquer avec l'*Umwelt* du public cible. Généralement, l'*Umwelt* cinématographique d'un film imite notre *Umwelt* écologique, car il a été produit par une créatrice humaine pour un public humain, et qu'il est difficile de concevoir et de représenter une réalité qui est complètement différente de la nôtre. De surcroît, plus ce monde est étrange, plus la spectatrice risque de le rejeter comme improbable. En plus de déployer des astuces explicites (p. ex. la cape de la crédibilité) pour créer un *Umwelt* convaincant, nous postulons que chaque élément visuel qui simule artistiquement des effets ou phénomènes physiques réels (ombre, volume, perspective, gravité, etc.) renforce de manière implicite la crédibilité de l'*Umwelt*. Ces repères visuels, que nous nommons « piliers », sont illustrés au tableau 7.1. Toutes les images utilisées dans ce tableau ont été réalisées par l'auteur.

Tableau 7.1 : Les piliers de l'Umwelt animé



Nous proposons que l'effet des repères illustrés au tableau 7.1 est cumulatif et interdépendant. C'est-à-dire que l'ajout de chaque repère combiné aux autres indices visuels et sonores, représentés et suggérés par l'artiste, renforce de manière holistique la crédibilité de l'*Umwelt* animé. Cette consolidation perceptuelle opère de manière implicite, car les règles de l'environnement sont illustrées sans qu'elles aient besoin d'être décrites explicitement par un personnage ou un narrateur. Donc, au lieu de devoir expliquer que l'*Umwelt* cinématographique se déroule dans un futur où une technologie capable de contrer les effets de la gravité a été développée et commercialisée, nous pouvons tout simplement débuter le film en montrant une voiture volante qui traverse l'horizon d'un New York futuriste. Et si la magie est une force réelle dans l'*Umwelt* filmique, elle peut être suggérée en animant un pégase ou un dragon qui traversent l'écran. Ces indices visuels établissent non seulement le type d'histoire qui sera conté ; elles déterminent également, à un niveau fondamental, les types de mouvements qui sont « permis » dans le monde. Lorsqu'il s'agit de phénomènes plus abstraits, incroyables et moins visuels, une explication est généralement fournie par un expert ou par un narrateur omniscient. Au courant du récit, un généticien devra, par exemple, expliquer pourquoi nous avons été en mesure de ressusciter les dinosaures de *Jurassic Park* ou pourquoi, dans le monde des *X-Men* (Singer, 2000), certains enfants acquièrent des superpouvoirs à l'arrivée de la puberté. Ce spécialiste n'a pas besoin d'être un scientifique, car son expertise doit concorder avec le phénomène en question. Un prêtre est ainsi requis pour expliquer la possession satanique (p. ex. *The Exorcist* [Friedkin, 1973]) et une magicienne peut élucider une prophétie. Par conséquent, il n'est pas nécessaire que les explications soient valables d'un point de vue scientifique. Puisque le spectateur moyen n'est pas un savant, mais opère à l'aide de croyances naïves, les explications doivent être suffisamment convaincantes pour franchir le seuil de la crédibilité et, à tout le moins, ne pas miner la crédibilité inhérente qui est conférée par la perception. Elles doivent aussi être cohérentes avec le monde fictionnel, car, d'après Steinlein (2007, p. 28) qui se réfère à Souriau (1953, p. 7) : « Les postulats narratifs établis ne se mesurent pas par rapport à la réalité afilmique, mais par rapport à leur cohérence au sein du monde fictionnel, qui possède ses propres lois ». Cette idée remet en cause la suspension temporaire et volontaire d'incrédulité (*willing suspension of disbelief* en anglais). Attribuée au critique littéraire et romantique britannique Samuel T. Coleridge (1772-1834) et reprise par les théoriciens de science-fiction au XX^{e} siècle (Picholle, 2021, p. 2), la suspension temporaire et volontaire d'incrédulité propose qu'il faut mettre son sens critique ou son incrédulité de côté pour être en mesure d'accepter la véracité de phénomènes narratifs invraisemblables (Bobée, 2012, p. 1). Cette hypothèse est probablement fausse, car les psychologues démontrent que nous ne contestons pas la véracité de ce que nous percevons, mais l'acceptons comme vraie jusqu'à preuve du contraire (Gerrig, 1993, p. 240). Donc, pour apprécier

une œuvre, nous n'avons pas à suspendre notre incrédulité, car nous sommes naturellement crédules. De plus, nous devons réactiver notre sens critique pour que les propos de la fiction n'infectent pas nos croyances. En d'autres mots : « Rather than needing to *suspend* disbelief, we have to engage in a willing *construction* of disbelief in order to keep the story world from infecting our real-world beliefs and attitudes » (Zacks, 2014, p. 108).

L'*Umwelt* cinématographique est renforcé par le principe du *framing* (Anderson, J. D., 1998, p. 113) qui propose que nous avons la capacité de nous plonger totalement dans un monde fictif tout en étant conscients de son artificialité. Cette aptitude viendrait des avantages évolutifs conférés par le jeu, car en étant capables de jouer, nous pouvons nous exposer à des situations parfois dangereuses, et tester nos réactions (émotionnelles, physiques, comportementales) en toute sécurité et de manière divertissante (p. 114). Si un film est une invitation à « faire semblant », les créateurs du film doivent dans un premier temps rendre l'offre attrayante. Un style visuel intéressant, un genre cinématographique familier, une franchise populaire, l'image de marque de la compagnie, la bande-annonce et la campagne publicitaire ne sont que quelques exemples d'incitatifs qui peuvent convaincre le spectateur de voir un film. Les attentes perceptuelles du public sont aussi formées en partie par ces facteurs, car, en plus d'avoir leur propre degré de mimétisme et d'exagération, les genres familiers ont également des *Umwelts* qui leur sont propres. Nous nous attendons donc à voir des phénomènes fantastiques dans les univers de Tolkien (p. ex. *The Hobbit* [Jackson, 2012]), de Bram Stoker (*Dracula* [Browning, 1931]), et de Ursula Le Guen (*Les Contes de Terremer* [Miyasaki, G., 2006]), alors qu'un film historique de guerre (p. ex. *Das Boot* [Petersen, 1981] ou *Saving Private Ryan* [Spielberg, 1998]) sera plus réaliste. De surcroît, ces *Umwelts* peuvent aussi être personnels et uniques, car chaque individu et, par conséquent, chaque réalisatrice voit le monde différemment. Nous savons ainsi qu'une animation surréaliste réalisée par l'animateur tchèque Jan Švankmajer (p. ex. *Alice* [1988] ou *Les Possibilités du dialogue* [1982]) respecte des règles différentes qu'un film de Wes Anderson (p. ex. *Fantastic Mr. Fox* [2009]) et que la géographie psychologique des films de Michèle Cournoyer (p. ex. *Le chapeau* [1999]) est différente de la topologie ludique d'un film de Nick Park (p. ex. *The Wrong Trousers* [1993]). Puisque notre premier réflexe est de croire à ce que nous voyons et que nous pouvons choisir ce que nous regarderons, nous acceptons généralement de visiter l'*Umwelt* filmique qu'une réalisatrice a créé avec un esprit ouvert et crédule. L'emploi d'un *Umwelt* unique, qui est gouverné par des règles constantes et originales, renforce non seulement l'illusion de la crédibilité, il semble aussi contribuer à l'appréciation de l'œuvre[44]. Chuck Jones (1989) croit que le succès des dessins

[44] Même le fait de doter une œuvre d'un titre qui décrit bien son contenu augmente son appréciation (Gerger et Leder, 2015).

animés opposant le Coyote au Road Runner s'explique par le respect de neuf disciplines (p. 224) qui établissent les règles narratives, cinétiques (physiques) et écologiques qui gouvernent l'*Umwelt* animé. La nature écologique de l'*Umwelt* est abordée par la cinquième discipline qui stipule que le Road Runner doit rester sur la route alors que la sixième règle souligne que les histoires doivent se dérouler dans le sud-ouest des États-Unis, qui représente l'environnement naturel des deux animaux. La règle n° 8 porte sur la façon dont la gravité est représentée, car elle affirme (en lettres majuscules) que : « WHENEVER POSSIBLE, MAKE GRAVITY THE COYOTE'S GREATEST ENEMY » (p. 225). Le dernier type de discipline traite de l'histoire. Par exemple, à part le « beep-beep » du Road Runner, aucun dialogue n'est permis (règle n° 4). Jones note également que seuls les produits de la compagnie ACME et l'inaptitude du Coyote peuvent lui faire du mal (n° 2). L'univers unique et cohérent de Jones démontre que l'*Umwelt* peut englober les quatre autres paliers de l'animation lorsque les dimensions narratives, écologiques et physiques du film et d'une animation sont traitées de manière cohérente et holistique[45] (voir fig. 7.20). Le fait que l'*Umwelt* constitue le cinquième palier de l'animation crée, selon nous, un modèle taxonomique qui, avec la molette et la pyramide de l'exagération, peut aider l'animatrice et le chercheur à catégoriser et à appréhender chaque élément cinématographique qui concerne le mouvement animé dans un système perceptuel holistique.

Figure 7.20 : L'Umwelt animé

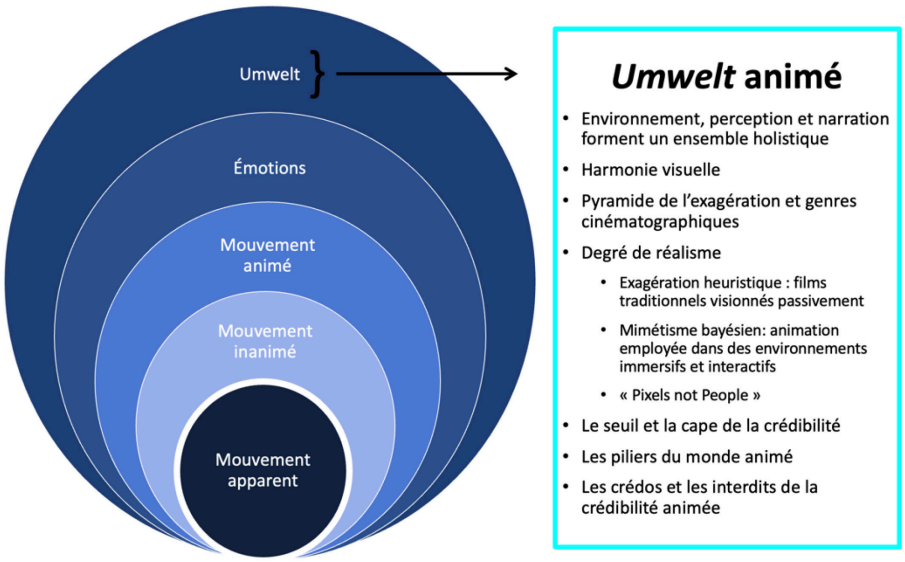


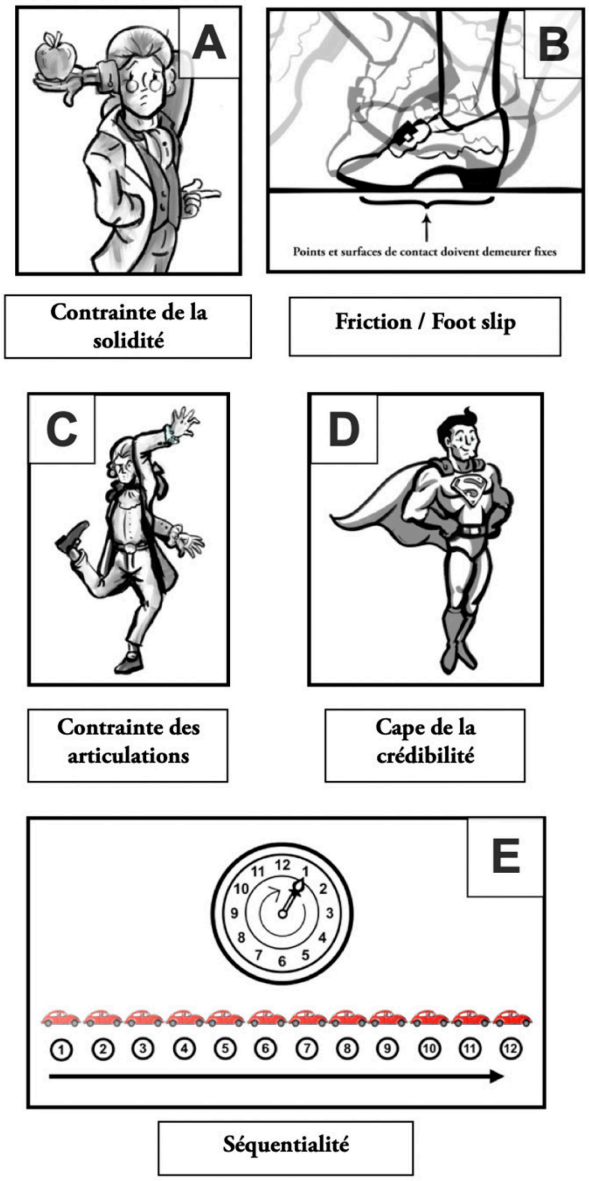
Figure créée par l'auteur.

En dépit de la crédulité initiale du spectateur, la crédibilité de l'Umwelt animé peut être rapidement détruite par certains phénomènes perceptuels que nous avons mentionnés et décrits à travers cette thèse.

[45] Bien que la dimension auditive d'un film n'ait pas été traitée dans cette thèse, il est possible de la considérer comme faisant partie de l'*Umwelt*, car elle décrit quels sons, bruits et musiques sont entendus dans le type d'environnement représenté à l'écran.

Ces phénomènes, que nous nommons « Les crédos et les interdits de la crédibilité animée », sont représentés à la figure 7.21. À moins qu'il s'agisse d'une entité incorporelle, tels un fantôme ou un superhéros (p. ex. Vision des Avengers ou Kitty Pride des X-Men), le premier crédo est que la matière est solide (voir chap. 4 et 6). Il faut donc éviter toute pénétration entre deux objets qui sont censés être durs (fig. 7.21A). La solidité de la matière implique également qu'il faut représenter la friction et éviter le *foot slip* (fig. 7.21B). Ensuite, la contrainte des articulations doit être respectée (voir chap. 6), surtout lorsque les personnages bougent à des vitesses normales (fig. 7.21C). Il faut déployer la stratégie de la cape de la crédibilité et animer les éléments familiers avec une attention particulière et de manière crédible (fig. 7.21D), car le système perceptuel opère à partir d'heuristiques newtoniennes qui sont juste assez fidèles à la réalité pour détecter les erreurs flagrantes. Finalement, la séquentialité des images d'une animation doit être respectée. Il est donc important de s'assurer que les images d'une animation soient affichées dans l'ordre naturel, sans qu'il y ait des sauts à des positions postérieures ou antérieures. Un bris de la séquentialité est illustré à la vidéo suivante : https://youtu.be/e7itqtm5e_0, ainsi qu'à la figure 7.21E. Lorsque ces crédos sont respectés et que les interdits sont évités, l'Umwelt animé repose sur des bases solides et crédibles. Et en employant les principes d'animation pour créer des mouvements fluides et expressifs, ce monde animé possède une hyperréalité qui nous incite à franchir, tel le peintre dans *Le paysagiste* (1976) de Jacques Drouin, le cadre de notre propre *Umwelt* et de découvrir, le temps d'un visionnement, l'esprit animé d'une autre personne.

Figure 7.21 : Les crédos et les interdits de la crédibilité animée



Images réalisées par l'auteur.

CONCLUSION

« Dans le coin, balai ! balai ! que cela finisse, car le vieux maître ne vous anime que pour vous faire servir à ses desseins. » *L'apprenti sorcier* de von Goethe (1843, p. 74)

Le cinéma et les sciences de la vision ont vu le jour au XIXe siècle, car les savants, artistes et inventeurs de l'âge des illusions étaient animés par le désir de comprendre la nature des mouvements produits par les jouets philosophiques. Près de 200 ans après que Joseph Plateau ait publié sa thèse doctorale sur les images rémanentes (1829) et conçu le phénakistiscope en 1833, la capacité des engins de jeu de générer des environnements hyperréalistes en temps réel, combinée à l'immersion interactive permise par la réalité virtuelle, marque, selon nous, le début d'un nouvel âge des illusions, parce que ces technologies sont à la fois divertissantes et d'intérêt scientifique. En reproduisant, par exemple, la parallaxe créée par le mouvement induit (voir chap. 2 et 5), la réalité virtuelle ne représente que la dernière innovation qui rapproche les arts du réel (voir chap. 1 et Donald [1993, 2006]). Nikolas Troje relate dans la citation suivante comment cette évolution incrémentielle et mimétique dans les arts ouvre la voie à de nouvelles recherches scientifiques :

> In a way, VR is only a gradual improvement toward the generation of visual stimuli that mimic what we see when interacting with the real world. Early paintings were symbolic and stylistic. Linear perspective became part of main stream painting in the 15th century. The realism of photography emerged in the early 19th century. Moving pictures were invented in the late 19th century and the first stereoscopic movies followed a few decades later. VR adds another important depth cue, namely, self-induced motion parallax. Other depth cues are still waiting to be taken care of, particularly those that take advantage of the ability of the lens to accommodate to different distances. (Troje, 2019, p. 4)

Le rôle majeur joué par les mouvements de synthèse dans la réalité virtuelle fait en sorte que l'animation pourrait être encore une fois au carrefour des arts et de la science, comme elle l'a été au XIXe siècle. Mais pour cela, les études animées doivent se tourner vers la neuroanimatique et s'intéresser aux études cognitives et perceptives du XXIe siècle.

Ayant comme objectif d'ouvrir les études en animation aux sciences de la vision, cette thèse représente une contribution importante à mon champ d'études pour plusieurs raisons. D'abord, la thèse représente un travail théorique fondamental, car il est essentiel d'établir une base théorique solide en études de l'animation qui est fondée sur des connaissances scientifiques contemporaines plutôt que sur des théories

désuètes ou incomplètes. Notre recensement des écrits scientifiques provenant de multiples disciples hautement spécialisées (p. ex. la psychophysique et la neuroesthétique) nous a ainsi permis d'identifier les principes perceptifs qui sous-tendent les principes d'animation et le mouvement cinématographique. Puisque l'animation est un art pratique et populaire, il n'était pas suffisant d'identifier des notions scientifiques qui pourraient expliquer les principes d'animation. Cette thèse visait donc à proposer de nouveaux concepts et théories qui seraient utiles à la fois pour l'artiste, le chercheur et l'enseignant. La combinaison des connaissances scientifiques avec ces nouveaux concepts forme ce que j'ai surnommé les piliers du cinéma d'animation. La thèse peut aussi être qualifiée d'exploratrice, car, à notre connaissance, nous sommes parmi les premiers à s'attaquer à l'origine des fondements perceptifs de l'animation de manière sérieuse. Elle est historique, parce que nous retracerons l'origine et le développement de certains principes scientifiques et artistiques à travers le temps. Par exemple, nous pensons être parmi les premiers à examiner l'effet des changements technologiques sur la cadence en animation. Finalement, la thèse est transdisciplinaire, car en essayant de comprendre les principes de l'animation avec un regard scientifique, elle fait l'inventaire de l'état des connaissances dans un champ de recherche qui est extérieur aux études de l'animation.

Parmi nos nombreuses contributions fondamentales aux études animées, nous aimerions souligner les suivantes. Notre examen des principes d'animation nous a permis de dresser une liste exhaustive des fonctions perceptives remplies par la compression et de l'étirement (principes n^{o} 1). Premièrement, la compression et de l'étirement aident à représenter la malléabilité de la forme animée. Cette exagération rend non seulement le mouvement plus expressif et intéressant, elle fournit des informations sur la masse de l'objet en mouvement. Finalement, la compression et de l'étirement illustrent un vrai phénomène, car les mécanismes perceptifs courbent les extrémités d'un objet en mouvement. Notre examen de ce principe nous a aussi permis de décrire les stries cinétiques qui sont le phénomène perceptif réel qui est à l'origine des lignes de vitesse dans les arts visuels. Nous suggérons que notre analyse des principes de l'exagération (n^{o} 10) et du *staging* (n^{o} 3) est aussi une contribution utile aux études en animation, car elle permet à l'animatrice et au chercheur de mieux comprendre les mécanismes perceptifs utilisés pour attirer et maintenir l'attention du spectateur.

Une des grandes lacunes théoriques que nous voulions combler dans les études animées est le fait qu'aucun chercheur n'a tenté de distinguer et de classifier les différentes formes de mouvement en animation. Voulant remédier à ce problème théorique fondamental et cherchant un outil qui nous aiderait

à élucider la nature cognitive et perceptuelle des principes d'animation, nous avons inventé « les cinq paliers perceptuels de l'animation ». Ce modèle nous a non seulement permis de classifier les piliers perceptuels de l'animation et les phénomènes qui les constituent. Nous avons aussi noté l'absence d'un modèle pouvant classifier un film d'animation en tenant compte à la fois du degré de mimèsis graphique de la forme (c.-à-d. son style visuel) et du degré de mimèsis ou d'exagération du mouvement (c'est-à-dire sa fluidité et son expressivité humaine). Pour combler ce vide théorique, nous avons proposé la molette et la pyramide l'exagération au chapitre 7. La molette de l'exagération est une métaphore utile sur les plans artistiques et pédagogiques, car elle illustre simplement un phénomène perceptif et une activité complexe. De plus, à la différence de métaphore, telle la persistance visuelle, sa validité ne repose pas sur une théorie scientifique qui pourrait être réfutée. Il en va de même pour la cape de la crédibilité. En proposant qu'il faut animer les choses familières de manière réaliste pour être en mesure de représenter les actions incroyables et impossibles de manière crédible, nous espérons que ce concept simple sera utilisé par les animateurs et enseignants. Une autre contribution pratique et fondamentale au champ d'études est notre examen de la physique naïve et newtonienne, car, comme nous l'avons noté au chapitre 7, il est capital pour l'animatrice avec l'arrivée des technologies immersives de varier le degré de réalisme des phénomènes physiques qui seront représentés en fonction de la technologie déployée. Ce type de considération technique est souvent négligé dans les écrits savants en animation. En plus d'avoir introduit en études de l'animation des notions scientifiques importantes qui permettent de mieux comprendre les principes perceptifs qui « animent » l'animation, nous avons créé près d'une centaine d'images et de schémas et une cinquantaine de vidéos pour illustrer les notions parfois complexes décrites dans cette thèse. Étant professeur, ces documents sont, selon nous, une des contributions les plus importantes de la thèse à notre domaine, car il est souvent difficile de décrire des phénomènes visuels en mots. En dépit de toutes ces contributions significatives, il faut souligner les limites de notre travail.

Pour démystifier la théorie de la persistance rétinienne, nous avons rapporté les recherches produites et citées par les tenants de la psychocinématique, dont celles de Joseph Anderson (Anderson, J., 2013; Anderson, J. D., 1998; Anderson, J. D. et Anderson, 1993; Anderson, J. D. et Fisher, 1978). Ces sources ont été un excellent point de départ, car leurs auteurs ont mené un travail de débroussaillage et de vulgarisation important. Après avoir rédigé les sections de la thèse décrivant la nature perceptive du mouvement apparent (chap. 4 et 5), nous avons toutefois constaté que les chercheurs en psychocinématique n'avaient pas réexaminé l'état des études portant sur le mouvement apparent depuis les années 1990. Heureusement, bien nos sources soient un peu datées, les informations rapportées dans

cette thèse sont encore valides. Par exemple, les travaux de Ramachandran et Anstis, qui ont servi de base aux axiomes du mouvement apparent (chapitre 4), sont encore factuels et tout aussi pertinents aujourd'hui, surtout en ce qui concerne notre compréhension du mouvement animé. Probablement la plus grande différence entre les notions citées dans cette thèse et les recherches contemporaines est le fait que les types de mouvements que nous percevons ne sont plus différenciés par la distance qui sépare les stimuli. Par conséquent, les scientifiques ne font plus la distinction entre les mouvements apparents de courte et de longue portée. Il y aurait plutôt deux ou potentiellement trois types de systèmes qui perçoivent différents types de mouvement (Allard et Arleo, 2022). Le premier type de mouvement, parfois appelé mouvement de premier ordre (*first-order motion*[1], en anglais), correspond au mouvement apparent de courte portée, fluide et réaliste, tel que nous le percevons au cinéma. Ce système traite les informations de bas niveau et est encore expliqué à l'aide de modèle, tel le Hassenstein–Reichardt EMD (Lu et Sperling, 2001). L'autre forme de mouvement correspond plus ou moins au mouvement apparent de longue portée. Ce système qui est plus lent que le système de premier ordre repose sur des mécanismes de plus haut niveau, dont l'attention sélective (Burr, D. et Thompson, 2011; Cavanagh, 1992; Lu et Sperling, 2001). Nous avons choisi de garder les termes « long » et « court » dans cette thèse pour deux raisons. D'abord, les nouvelles découvertes qui sont encore débattues reposent sur des phénomènes et notions psychophysiques complexes qui dépassent notre entendement et probablement celui de nos lecteurs. Plus important encore, la distinction entre le mouvement apparent court et réaliste et le mouvement apparent long et saccadé est un concept simple qui est facilement compris par l'animatrice qui est intimement familière avec l'effet de la distance sur la fluidité et la nature des mouvements animés. En dépit du fait que certaines informations seraient à actualiser, il est important de noter que nous sommes les premiers animateurs et chercheurs dans notre domaine à examiner la nature du mouvement animé avec autant d'attention. Nous semblons aussi être les premiers chercheurs en études cinématographiques à constater l'importance de réexaminer l'état des études portant sur le mouvement apparent, car les textes fondateurs de la psychocinématique ne sont plus d'actualité. Il est ironique qu'en citant de vieilles recherches, nous ayons en quelque sorte commis la même erreur que celle commise par les chercheurs citant la théorie de la persistance visuelle. À la différence de ces derniers cependant, nous avons tenté d'examiner les études plus récentes plutôt que de citer une théorie du XIXe siècle. Cette discussion met en lumière le fait qu'il existera toujours un décalage entre la découverte et l'acceptation d'une théorie dans un champ d'études et sa dissémination dans les écrits d'un autre domaine. Par exemple, il a fallu

[1] Les scientifiques ont aussi identifié un *second-order motion*, mais ils ne savent pas encore si ce mouvement de second ordre est traité par le même système responsable de la perception du mouvement de premier ordre (Burr, D. et Thompson, 2011).

60 ans après la parution de *The Photoplay* (2002 [1916]) de Münsterberg et les expériences de Wertheimer (2012 [1912]) avant qu'Anderson et Fisher (1978) réalisent que les études cinématographiques reposaient sur une théorie erronée et désuète datant du XIXe siècle. Pour que le pont entre la science et les arts soit solide, il faut donc s'assurer de consulter les recherches plus récentes.

Que ça soit en utilisant le mouvement apparent de courte ou de longue portée ou des métaphores comme celle du brigadier, nous reconnaissons que ces explications scientifiques sont probablement trop complexes pour remplacer une métaphore aussi simple et élégante que celle proposée par la persistance visuelle. Donc en dépit de nos efforts, nous sommes conscients du fait que nous n'avons pas réussi à déloger la théorie de la persistance visuelle des études en animation, car il est fort probable que cette dernière continue de hanter la culture populaire et les études cinématographiques jusqu'à ce qu'une nouvelle métaphore soit développée pour la détrôner. Comme l'observe Cobb (2020), la complexité élusive du cerveau nous force à devoir utiliser la dernière technologie pour en expliquer le fonctionnement. Avec l'invention de la réalité virtuelle, il n'est pas surprenant qu'après avoir comparé la perception à une machine hydraulique au XVIIe siècle, à un télégraphe au XIXe siècle et à une centrale téléphonique et à un ordinateur au XXe siècle (Proffitt et Baer, 2020, p. 79-80), certains chercheurs, dont Berliner et Cohen (2011, p. 44), proposent au XXIe siècle que nous vivons dans une illusion virtuelle créée par le cerveau, comme dans l'univers de *The Matrix*. La ténacité de la persistance visuelle, une théorie fondée sur l'idée de la vision cinématographique, démontre toutefois qu'il ne faut pas accorder trop d'importance à ce type de métaphore, car sa simplicité donne la fausse impression que des phénomènes fondamentaux et complexes sont élucidés et qu'il n'est plus nécessaire de s'y intéresser. Il est ainsi capital pour les artistes et les chercheurs en animation de rester à l'affut des développements scientifiques et de contester les théories existantes, dont celles qui ont été décrites dans cette thèse. Bien que peu de chercheurs semblent adhérer à la neuroanimatique, nous avons observé dans les cinq dernières années une augmentation d'écrits savants qui incorporent des notions venant des sciences perceptuelles. En créant des parallèles entre les écrits de Gilles Deleuze et des notions cognitives, Dan Torre, par exemple, démontre dans son livre *Animation - Process, Cognition and Actuality* (2017) qu'il est tout à fait possible de réconcilier la branche littéraire des études cinématographiques avec les écrits scientifiques. Nous sommes également heureux de constater que certains écrits réévaluent les notions pratiques qui sont tenues pour acquises. Thomas Thesen propose ainsi dans « Reviewing and Updating the 12 Principles of Animation » (2020) une

nouvelle série de principes d'animation qui tiennent compte des nouvelles techniques[2]. Comme Thesen, nous espérions aussi formuler une nouvelle série de principes d'animation qui seraient basés sur notre recensement des écrits scientifiques, car les principes de Disney nous semblaient trop flous et ésotériques pour être considérés comme des postulats savants sérieux. Cette idée fut toutefois abandonnée après avoir réalisé que les principes d'animation sont vagues et hétéroclites, car ils imitent la perception qui désigne un ensemble de phénomènes hétéroclites qui opèrent de manière holistique. Puisque la perception doit faire preuve d'une tolérance catégorique pour qu'elle puisse fonctionner efficacement dans un environnement complexe et dynamique (voir chap. 4), il est difficile de réduire les principes d'animation à des théorèmes simples, élégants et explicites. Cela dit, les axiomes du mouvement animé (Ramachandran et Anstis, 1986) sont simples parce qu'ils décrivent les règles fondamentales qui gouvernent la perception du mouvement apparent (voir chap. 4). Une autre conséquence de la nature hétéroclite de la perception est que peu de notions influencent l'ensemble de l'expérience cinématographique. Parmi les quelques notions qui ont cet effet, nous avons identifié le principe de l'exagération qui amplifie les éléments et le principe du *staging* qui contrôle l'attention (chap. 6 et 7). La nature et la portée hétéroclite de ces principes font toutefois en sorte qu'ils ne peuvent être réduits à une simple formule mathématique, mais doivent être décrits en employant des métaphores élaborées telles la molette et la pyramide de l'exagération.

Mieux comprendre les fondements scientifiques des piliers de l'animation est, selon nous, essentiel pour permettre à l'animatrice de résoudre les problèmes perceptuels du XXI^{e} siècle, mais les scientifiques peuvent aussi bénéficier d'échanges avec la neuroanimatique. Nous n'irons pas jusqu'à suggérer que ce sera une animatrice qui élucidera le mystère du mouvement apparent, mais, étant intimement familière avec certains aspects de ce dernier, elle pourra peut-être fournir au savant un éclairage précieux sur le phénomène. Un autre avantage qui découlerait d'un tel rapprochement est que l'artiste peut découvrir des phénomènes perceptuels particuliers en mobilisant et combinant un ensemble de phénomènes perceptuels pour produire une expérience esthétique globale. Puisque l'effet final est holistique, il est difficile de savoir pourquoi il fonctionne ou ne fonctionne pas. C'est alors que la scientifique peut isoler et examiner le rapport entre les différents facteurs pour en déterminer la cause. De tels échanges ont été fructueux dans le cas de la vallée de l'étrangeté, car les artistes ont créé le *shinwakan* négatif et les scientifiques ont cherché à l'expliquer (voir chap. 6). Il faut noter que la solution au problème, qui serait

[2] Nous n'avons pas cité ce travail, car l'auteur ne recense pas les écrits scientifiques. Sa réorganisation des principes repose plutôt sur les ouvrages publiés par des animateurs, dont Chris Webster (2015) et Richard Williams (2001).

causé par une disparité perceptuelle, est fondée sur le constat qu'il faut harmoniser les différents éléments visuels, car la perception est holistique. Par conséquent, si le phénomène examiné empiriquement est connu de l'artiste, il serait pertinent que le scientifique la consulte pour profiter de son savoir praxéologique. Le pont entre les sciences cognitives et la neuroanimatique est ainsi bénéfique pour les deux disciplines.

Un des attraits de la neuroanimatique comme champ disciplinaire est qu'il existe une quantité incroyable de phénomènes et de facteurs propres à l'animation qui n'ont pas été décrits dans cette thèse. Puisque nous voulions examiner les aspects plus fondamentaux de l'animation, une attention particulière a été portée aux principes associés au mouvement animé. Parmi les questions et les sujets qu'il serait intéressant d'examiner, nous avons identifié les suivants. La dimension auditive d'un film n'a pas été abordée en dépit du fait que le son et la musique contribuent de plusieurs façons à l'expérience cinématographique. Un des rôles du son est d'aider le spectateur à déterminer la nature et la qualité de ce qui est représenté visuellement. Ce phénomène s'appelle la validation intermodale (appelée *crossmodal confirmation*, en anglais). Pour maximiser nos chances de survie, nous devons nous assurer que l'information que nous percevons est valide. Nous cherchons donc à corroborer l'information captée par un sens, à l'aide de l'information venant d'un autre sens (Spence, 2011; Wolfe *et al.*, 2019, p. 508). La validation intermodale de l'image par le son au cinéma rend l'expérience cinématographique plus concrète, crédible et intéressante, car nous sommes des créatures audiovisuelles, et un film muet ne capte pas notre attention pour très longtemps, comme le note Münsterberg dans *The Photoplay* (2002 [1916], p. 145). L'animation étant une représentation stylisée et parfois simplifiée de la réalité, nous postulons que l'effet du son est amplifié en animation, car nous avons moins d'informations sur lesquelles baser nos impressions. Si cette hypothèse est corroborée empiriquement, le son qui est associé à une action, à un objet, ou à un phénomène, nous aide à en déterminer sa nature. L'effet du son serait ainsi semblable au principe de la compression et l'étirement qui fournit au spectateur des informations cinématiques quant au caractère d'un objet ou d'un phénomène dynamique (voir chap. 5). (The Wachowskis, 1999)

Une autre avenue de recherche prometteuse est la culture, car celle-ci influence la perception de plusieurs façons qui pourraient intéresser le savant en neuroanimatique. Nisbett *et al.* (2001) démontrent que les Asiatiques sont plus holistiques et perçoivent l'ensemble du champ visuel, alors que les Occidentaux sont plus analytiques et portent attention aux objets qu'ils cherchent à regrouper en catégories. Les Asiatiques ont aussi un univers émotionnel plus nuancé que celui des Occidentaux, car ils ont tendance à ressentir

plusieurs émotions à la fois, alors que les Occidentaux ont tendance à ressentir une seule émotion distincte (Grossmann *et al.*, 2016; Miyamoto *et al.*, 2010). Cette différence pourrait notamment expliquer pourquoi il est difficile pour un scientifique occidental d'étudier le *shinwakan* de l'étrangeté. Il serait pertinent d'examiner comment ces différences culturelles se manifestent dans les films d'animation japonais (*animes*) et les productions hollywoodiennes. Il faut noter que le choix des phénomènes qui ont été décrits dans cette thèse découle en partie de la culture et de l'expérience subjective du chercheur. Nous n'avons traité de la couleur que partiellement, car nous sommes daltonien, et avons insisté sur le mouvement, car nous sommes animateur. Finalement, bien que le mouvement dit « émouvant » représente le quatrième palier de l'animation, le rôle des émotions et de la performance n'ont pas été discutés dans ce travail, parce que ce sujet complexe en dépasse largement le cadre qui portait avant tout sur le mouvement animé. De surcroit, il faut noter que les émotions, le son, la dimension narrative, et un bon nombre des sujets qui n'ont pas été abordés dans cette thèse sont déjà examinés en études cinématographiques par les tenants de la psychocinématique. Les deux avenues de recherche que nous croyons être les plus prometteuses en neuroanimatique et qui demeurent, selon nos observations, peu étudiées sont le rapport entre la cadence et les rythmes naturels du corps ainsi que l'influence de l'immersion sur l'animation.

Au sein du chapitre 5, il a été question du rapport entre la distance qui sépare deux positions et la cadence, mais nous n'avons pas exploré les effets produits par des variations temporelles sur la perception. Une théorie appelée « *event segmentation* » a été proposée par Zacks et Swallow (2007) pour expliquer comment nous segmentons ce que nous percevons en événements discrets pour mieux les comprendre. Puisque la théorie a été proposée initialement pour expliquer le montage cinématographique et qu'elle est déjà étudiée en psychophysique (Zacks, 2013), nous ne l'avons pas décrite. Nous suggérons toutefois que le découpage d'un mouvement en sections est beaucoup plus fin et cette segmentation cinétique peut expliquer comment une animatrice peut varier le tempo pour créer des mouvements et des performances dynamiques et saillants. Une autre piste de recherche que nous croyons être encore plus intrigante demeure le lien potentiel entre la cadence et le rythme des ondes cérébrales et des fonctions corporelles.

Nous avons insisté à plusieurs reprises au courant de cette thèse sur le fait que la métaphore de l'œil-caméra est problématique, car elle perpétue le mythe de la persistance visuelle et qu'il n'y a que les aspects optiques de l'œil qui peuvent être comparés à un appareil cinématographique. Certains indices suggèrent néanmoins que des parallèles peuvent être tracés entre la perception et le cinéma. Les personnes atteintes d'alinopsie akinétopsique (voir chap. 2), par exemple, voient le monde comme une

série de clichés statiques qui ressemblent aux intervalles d'une animation dépourvue de mouvement. Bien que nous ayons précisé au chapitre 3 qu'il est important de ne pas confondre un effet photographique avec les séquelles débilitantes d'un trouble visuel sérieux, serait-il possible que les mouvements que nous percevons soient assemblés à partir d'images discrètes ? En d'autres mots, est-ce que le système perceptuel capte des images « en mode rafale », de la même façon qu'une caméra filme 24 images par seconde, ou est-ce que les informations sensorielles sont traitées continuellement, comme un *livestream* ? D'après le modèle Hassenstein–Reichardt EMD, les stimuli seraient traités en continu de la même manière qu'une diffusion en direct, mais d'autres recherches suggèrent que le système visuel traite les images à une certaine cadence. Il faut préciser que les scientifiques étudiant cette question, dont Sokoliuk et VanRullen (2019), ne parlent pas de cadence (i/s), mais plutôt de fréquence (mesurée en hertz). Une série d'expériences menées par VanRullen (2007) sur le *Wagon Wheel Illusion* (WWI)[3], par exemple, semble indiquer que le système perceptuel échantillonne l'environnement par tranches de 13 Hz (p. 2148). Il est intéressant de noter que cette valeur se situe entre 12 i/s et 16 i/s. Ceci implique qu'animer à deux fonctionne parce que le système perceptuel échantillonne environ le même nombre d'images par seconde que l'animateur en produit. Cette valeur expliquerait aussi pourquoi les cadences des films muets se situent autour de 16 i/s (voir chap. 5). Puisque cette proposition est purement hypothétique et qu'il existe d'autres recherches qui indiquent que nos systèmes biologiques ont leur propre rythme (p. ex. Buzsáki [2006]), il serait intéressant d'établir empiriquement s'il y a un lien entre la cadence cinématographique et les rythmes neurobiologiques. Finalement, il est crucial d'examiner l'effet de l'immersion sur le degré de réalisme d'une animation. Nous avons suggéré au chapitre 7 que les animations employées dans des environnements virtuels immersifs et mimétiques doivent être aussi réalistes que possible, car le système perceptivo-moteur est fondé sur la physique newtonienne de notre habitat terrestre. À l'inverse, les animations perçues passivement pourraient être cartoonesques, car aucune interaction n'est requise et l'exagération est stimulante. Ces hypothèses semblent crédibles, mais doivent être testées empiriquement[4]. Puisque cette thèse ne marque que le début d'une étude des piliers perceptuels de l'animation, il serait bénéfique de revisiter, de contester et d'approfondir les notions décrites dans ce

[3] « *The Wagon Wheel Illusion* (WWI) », aussi appelée le « *wagon wheel effect* (WWE) », est une illusion qui décrit le fait qu'une roue d'un véhicule en mouvement semble tourner lentement dans une direction, puis change de direction au moment où la roue gagne en vitesse (Colman, 2015, p. 815). L'illusion tire son nom du fait qu'il a été observé dans le mouvement des roues des charrues figurant dans les westerns, lorsque la caméra et la vitesse de rotation ne sont pas synchronisées (Purves *et al.*, 1996, p. 3693). Outre l'hypothèse de l'échantillonnage, Van Rullen suggère que le WWI pourrait être une forme de mouvement rémanent (*motion after effect*) causée par l'adaptation ou la fatigue des photorécepteurs (voir l'illusion de la chute d'eau au chap. 3).

[4] En fait, il y a de fortes chances que ces études aient déjà été menées par les compagnies produisant les dispositifs et systèmes d'immersion (p. ex. Oculus Rift). Si ces recherches existent, il se peut que nous ne les ayons pas trouvées parce qu'elles sont propriétaires et n'aient pas été présentées à la communauté scientifique.

travail, car nous n'en avons présenté qu'un portrait sommaire. Par exemple, il serait pertinent de tester l'hypothèse selon laquelle il existe un *taxum animatum*, comme nous l'avons proposé au chapitre 6. La neuroanimatique est ainsi un champ d'études ouvert à de multiples avenues de recherche prometteuses[5].

Comme la technologie joue un rôle de plus en plus important en animation et automatise de nombreux processus, il est possible que l'animatrice du futur n'ait plus à produire les mouvements elle-même, car ces derniers seront générés par un logiciel qui emploie des banques d'animations préenregistrées ou transposées en direct d'un acteur au personnage de synthèse. Si le métier existe encore, l'animatrice contrôlerait, telle une chef d'orchestre, le degré de réalisme, d'exagération ainsi que la dimension perceptuelle d'animations pour les adapter à des facteurs, tels l'histoire, le genre, et la plate-forme technologique. Pour ne pas être dépassés par les avancées technologiques, nous devons comme chercheurs et animateurs mieux connaître les piliers perceptuels de l'animation en tenant compte de l'*Umwelt* décrite au sein du dernier chapitre, car l'animation interactive et immersive est incarnée et écologique. Les principes d'animation devront peut-être être réorganisés selon des principes scientifiques, mais leur essence sera toutefois préservée, car les piliers perceptuels de l'animation sont universels, peu importe la technique, l'environnement, ou le degré de mimétisme. De surcroit, en dépit de l'obsession actuelle de l'industrie hollywoodienne pour le réalisme, nous croyons également qu'il y aura toujours une place pour les formes stylisées, hyperréalistes et caricaturales de l'animation, car la réalité est terne et un des attraits de l'art est sa capacité de revigorer la perception en dépeignant ce qui est familier de manière originale[6]. Comme l'a noté Disney, cité par Hahn et Miller-Zarneke (2015, p. 66), avant de pouvoir représenter le fantastique, il faut d'abord comprendre le réel. Les contributions théoriques et pratiques importantes apportées par cette thèse jettent les bases d'une programmation de recherche qui s'annonce aussi pertinente que fructueuse. Avec la tête dans les nuages et les pieds plantés fermement sur les piliers de l'animation, il est ainsi grand temps pour l'apprenti de Yen Sid d'ouvrir grand les portes du second âge des illusions et de maîtriser les forces qui l'animent et qu'il anime.

[5] Un moyen de stimuler l'intérêt pour la neuroanimatique serait de la renommer « *cartoon cognition* ». Nous avons pensé à cette appellation, car elle reconnaît le caractère amusant de certains films animés que nous étudions.

[6] Cette idée est associée à l'ostranenie ou à la défamiliarisation, un concept provenant du formalisme russe (Winthrop-Young, 2013, p. 234).

RÉFÉRENCES

Abrams, M. et Aliano, A. (2002). *Sight Unseen Discover [Online]* (vol. 23, pp. 1-5).

Ackerman, J. S. (1978). Leonardo's Eye. *Journal of the Warburg and Courtauld Institutes*, 108-146. https://www.journals.uchicago.edu/doi/epdf/10.2307/750865

Adamson, J. (2005). Witty Birds and Well-Drawn Cats: An Interview with Chuck Jones. Dans M. Furniss (dir.), *Chuck Jones: Conversations* (p. 49-88). University Press of Mississippi.

Adler, A. (1998). Le totémisme en Afrique noire. *Systèmes de pensée en Afrique noire*, *15*, 13-106. https://doi.org/10.4000/span.1549

Alais, D., Apthorp, D., Karmann, A. et Cass, J. (2011). Temporal Integration of Movement: The Time-Course of Motion Streaks Revealed by Masking. *PLoS One*, *6*(12), 1-10, Article e28675. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0028675

Aldred, J. (2011). From Synthespian to Avatar: Re-framing the Digital Human in Final Fantasy and The Polar Express. *Mediascape*, *10*, 2013. http://clients.jordanjennings.com/Mediascape/HTML/Winter2011_Avatar.pdf

Algar, J. (réalis.). (1940). *The Sorcerer's Apprentice* [Film]. W. Disney et B. Sharpsteen (prod.). RKO Radio Pictures.

Allard, R. et Arleo, A. (2022). The false aperture problem: Global motion perception without integration of local motion signals. *Psychological Review*, *129*(4), 732. https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-03426654/document

Allison, R. S., Schumacher, J., Sadr, S. et Herpers, R. (2010). Apparent motion during saccadic suppression periods. *Experimental Brain Research*, *202*(1), 155-169. https://doi.org/10.1007/s00221-009-2120-y

Allman, J. (2000). *Evolving Brains* (Revised éd.). Henry Holt and Company.

Altın, N. C. et Bingöl, H. O. (2018). Place of flip book animation technique in communication design education. *Journal of Human Sciences*, *15*(2), 943-951. www.j-humansciences.com/ojs/index.php/IJHS/article/view/5346

Ambady, N., Hallahan, M. et Conner, B. (1999). Accuracy of judgments of sexual orientation from thin slices of behavior. *Journal of Personality and Social Psychology*, *77*(3), 538-547. https://doi.org/10.1037/0022-3514.77.3.538

Anderson, J. (2013). Toward an Ecology of the Arts. Dans A. P. Shimamura (dir.), *Psychocinematics: Exploring Cognition at the Movies* (Kindle éd., p. 76-93). Oxford University Press.

Anderson, J. D. (1998). *The Reality of Illusion: An Ecological Approach to Cognitive Film Theory*. Southern Illinois University Press.

Anderson, J. D. et Anderson, B. (1980). Motion Perception in Motion Pictures. Dans *The Cinematic Apparatus* (p. 76-95). Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-349-16401-1_7.

Anderson, J. D. et Anderson, B. (1993). The Myth of Persistence of Vision Revisited. *Journal of Film and Video*, *45*(1), 3-12. https://www.jstor.org/stable/20687993

Anderson, J. D. et Fisher, B. (1978). The Myth of Persistence of Vision. *Journal of the University Film Association*, *30*(4), 3-8. https://www.jstor.org/stable/pdf/20687445.pdf

Ang, L. (réalis.). (2003). *Hulk* [Film]. A. Arad, L. Franco, G. A. Hurd et J. Schamus (prod.). Universal Pictures.

Ang, L. (réalis.). (2019). *Gemini Man* [Film]. J. Bruckheimer, D. Ellison, D. Goldberg et D. Granger (prod.). Paramount Pictures.

Anstis, S. (2015). Seeing Isn't Believing. How motion illusions trick the visual system, and what they can teach us about how our eyes and brains evolved [Online]. *The Scientist*, *29*(6), 1-13. https://www.the-scientist.com/features/seeing-isnt-believing-35398

Anstis, S., Verstraten, F. A. J. et Mather, G. (1998). The motion aftereffect. *Trends in Cognitive Sciences*, *2*(3), 111-117. https://doi.org/10.1016/S1364-6613(98)01142-5

Antidote. (2022a). *After-effect. Antidote : Dictionnaire de définitions* (11 éd.). Montréal : Druide informatique.

Antidote. (2022b). *Agency. Antidote : Dictionnaries of definitions* (11 éd.). Montréal : Druide informatique.

Antidote. (2022c). *Agnosie. Antidote : Dictionnaire de définitions* (11 éd.). Montréal : Druide informatique.

Antidote. (2022d). *Binoculaire. Antidote : Dictionnaire de définitions* (11 éd.). Montréal : Druide informatique.

Antidote. (2022e). *Cœur. Antidote : Dictionnaire de définitions* (11 éd.). Montréal : Druide informatique.

Antidote. (2022f). *Constraint. Antidote : Dictionary of Definitions* (11 éd.). Montréal : Druide informatique.

Antidote. (2022g). *Dactyloscopie. Antidote : Dictionnaire de définitions* (11 éd.). Montréal : Druide informatique.

Antidote. (2022h). *Digital. Antidote : Dictionnaire de définitions* (11 éd.). Montréal : Druide informatique.

Antidote. (2022i). *Embody. Antidote : Dictionary of Definitions* (11 éd.). Montréal : Druide informatique.

Antidote. (2022j). *Endogroupe. Antidote : Dictionnaire de définitions* (11 éd.). Montréal : Druide informatique.

Antidote. (2022k). *Géniculé. Antidote : Dictionnaire de définitions* (11 éd.). Montréal : Druide informatique.

Antidote. (2022l). *Hallucination. Antidote : Dictionnaire de définitions* (11 éd.). Montréal : Druide informatique, inc.

Antidote. (2022m). *Hominidé. Antidote : Dictionnaire de définitions (Historique)* (11 éd.). Montréal : Druide informatique.

Antidote. (2022n). *Métamétrie. Antidote : Dictionnaire de définitions* (11 éd.). Montréal : Druide informatique.

Antidote. (2022o). *Mirage. Antidote : Dictionnaire de définitions* (11 éd.). Montréal : Druide informatique.

Antidote. (2022p). *Phénakistiscope. Antidote : Dictionnaire de définitions* (11 éd.). Montréal : Druide informatique.

Antidote. (2022q). *Physionomie. Antidote : Dictionnaire de définitions* (11 éd.). Montréal : Druide informatique.

Antidote. (2022r). *Pixelliser. Antidote : Dictionnaire de définitions* (11 éd.). Montréal : Druide informatique.

Antidote. (2022s). *Psychophysique. Antidote : Dictionnaire de définitions* (11 éd.). Montréal : Druide informatique.

Antidote. (2022t). *Staging. Antidote : Dictionnaries of definitions* (11 éd.). Montréal : Druide informatique.

Antidote. (2022u). *Stéréoscopique. Antidote : Dictionnaire de définitions (Historique)* (11 éd.). Montréal : Druide informatique.

Antidote. (2022v). *Tachistoscope. Antidote : Dictionnaire de définitions* (11 éd.). Montréal : Druide informatique.

Antidote. (2022w). *Trope. Antidote : Dictionnaire de définitions (Historique)* (11 éd.). Montréal : Druide informatique.

Aristote; Saint-Hilaire, J. B. (1862). *Physique d'Aristote ou Leçons sur les principes généraux de la nature* (B. J. Saint-Hilaire, trad.). Librairie philosophique de Ladrange.

Aristotle. (1996). De Insomniis Dans D. Gallop (dir.), *Aristotle: On Sleep and Dreams* (Kindle edition éd., p. 85-105). Oxbow Books.

Armat, T. (1967). My Part in the Development of the Motion Picture Projector (1935). Dans R. Fielding (dir.), *A Technological History of Motion Pictures and Television: an anthology from the pages of the Journal of the Society of Motion Picture and Television Engineers* (p. 17-22). University of California Press. https://archive.org/details/technologicalhis0000fiel.

Armstrong, M. G., Flynn, D. J., Hammond, M., Jolly, S. J. E. et Salmon, R. (2008). High Frame-Rate Television *British Broadcasting Corporation (BBC)*(169), 1-7. https://spjald.net/upphal/1356705674.whp1691.pdf

Armstrong, S., Algar, J., Roberts, B., Satterfield, P., Sharpsteen, B., Hand, D. D., Luske, H., Handley, J., Beebe, F., Hee, T., Ferguson, N. et Jackson, W. (réalis.). (1940). *Fantasia* [Film]. W. Disney (prod.). RKO Radio Pictures.

Arnheim, R. (1974). *Art and Visual Perception: A Psychology of the Creative Eye* (The New Version (50th Anniversary Printing) éd.). University of California Press.

Assal, G. (2001). Prosopagnosie. *Bulletin de l'Académie Nationale de Médecine*, *185*(3), 525-536. https://doi.org/10.1016/S0001-4079(19)34537-6

Atran, S. (1999a). Folk Biology. Dans R. A. Wilson et F. C. Keil (dir.), *The MIT Encyclopedia of the Cognitive Sciences* (p. 317-318). MIT Press. https://bit.ly/3vXOmf2.

Atran, S. (1999b). Itzaj Maya folkbiological taxonomy: cognitive universals and cultural particulars. Dans D. L. Medin et S. Atran (dir.), *Folkbiology* (p. 119-213). MIT Press. https://bit.ly/3SKPU5M.

Atran, S. (1999c). The Universal Primacy of Generic Species in Folkbiological Taxonomy: Implications for Human Biological, Cultural, and Scientific Evolution. Dans R. A. Wilson (dir.), *Species: New interdisciplinary essays* (p. 231-261). The MIT Press. https://doi.org/10.7551/mitpress/6396.001.0001.

Avery, T. (réalis.). (1943a). *Blitz Wolf* [Film]. F. Quimby (prod.). Loews Inc.

Avery, T. (réalis.). (1943b). *Red Hot Riding Hood* [Film]. F. Quimby (prod.). Loews Inc.

Azarian, B. (2015). *Avoiding the Uncanny Valley*. Slate, New America et ASU. Récupéré le 20 juillet 2018 de https://bit.ly/3C6CUBj

Azéma, M. (2006). La représentation du mouvement au Paléolithique supérieur. Apport du comparatisme éthographique à l'interprétation de l'art pariétal. *Bulletin de la Société préhistorique française*, 479-505. https://www.persee.fr/docAsPDF/bspf_0249-7638_2006_num_103_3_13468.pdf

Azéma, M. (2021). Prehistoric Cave Art: From Image to Graphic Narration. *Paragraph*, *44*(3), 379-393. https://www.euppublishing.com/doi/pdf/10.3366/para.2021.0377

Azéma, M. et Rivère, F. (2012). Animation in Palaeolithic art: a pre-echo of cinema. *Antiquity*, *86*(332), 316-324. https://lisahistory.net/hist106/pw/articles/AnimationinPalaeolithicArt.pdf

Bakshi, R. (réalis.). (1978). *The Lord of the Rings* [Film]. S. Zaentz (prod.). United Artists.

Baldwin, D. A. et Baird, J. A. (1999). Action Analysis: A Gateway to Intentional Inference. Dans P. Rochat (dir.), *Early social cognition: Understanding others in the first months of life* (p. 215-240). Psychology Press.

Ball, P. (2016, 11 août 2016). *The Tyranny of Simple Explanations*. Récupéré le 25 juin 2020 de https://www.theatlantic.com/science/archive/2016/08/occams-razor/495332/

Ballard, D. H. et Brown, C. M. (1982). *Computer Vision*. Prentice-Hall Inc.

Baranowski, A. et Hecht, H. (2017). One Hundred Years of Photoplay: Hugo Münsterberg's Lasting Contribution to Cognitive Movie Psychology. *Projections*, *11*(2), 1-21. https://doi.org/10.3167/proj.2017.110202

Barber, X. T. (1989). Phantasmagorical Wonders: The Magic Lantern Ghost Show in Nineteenth-Century America. *Film History*, *3*(2), 73-86. http://www.jstor.org/stable/3814933

Barclay, C. D., Cutting, J. E. et Kozlowski, L. T. (1978). Temporal and spatial factors in gait perception that influence gender recognition. *Perception & Psychophysics*, *23*(2), 145-152. https://link.springer.com/content/pdf/10.3758/BF03208295.pdf

Barlow, H. B. et Hill, R. M. (1963). Selective Sensitivity to Direction of Movement in Ganglion Cells of the Rabbit Retina. *Science*, *139*(3553), 412-414. https://doi.org/10.1126/science.139.3553.412

Barnes, J. et Mannoni, L. (1998). Robert William Paul, père de l'industrie cinématographique britannique. *1895, revue d'histoire du cinéma*, *24*, 2-8. https://doi.org/10.3406/1895.1998.1331

Barrett, L. F. (2006). Valence is a basic building block of emotional life. *Journal of Research in Personality*, *40*(1), 35-55. https://doi.org/10.1016/j.jrp.2005.08.006

Barrier, M. (2003). *Hollywood Cartoons: American Animation in its Golden Age*. Oxford University Press.

Barrier, M. (2007). *The Animated Man: A Life of Walt Disney*. University of California Press.

Basch, M.-E., Cristea, D.-G., Tiponut, V. et Slavici, T. (2010). Elaborated Motion Detector Based on Hassenstein-Reichardt Correlator Model. *Latest Trends on Systems*, *1*, 192-195. https://www.academia.edu/download/39855607/Elaborated_motion_detector_based_on_Hass20151110-24385-1dc8e2a.pdf

Bathfield, M. (2018). Why Zeno's Paradoxes of Motion are Actually About Immobility. *Foundations of Science*, *23*(4), 649-679. https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s10699-017-9544-9.pdf

Bayes, T. (1763). An Essay towards solving a Problem in the Doctrine of Chances. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*(53), 370-418. https://royalsocietypublishing.org/doi/pdf/10.1098/rstl.1763.0053

Becker, A. (réalis.). (2017). *12 Principles of Animation (Official Full Series) [Online]* [Vidéo]. (prod.). YouTube. https://youtu.be/uDqjIdI4bF4

Beckerman, H. (2003). *Animation: The Whole Story*. Allworth Press.

Bender, Morris B., Feldman, M. et Sobin, Allan J. (1968). Palinopsia. *Brain*, *91*(2), 321-338. https://doi.org/10.1093/brain/91.2.321

Benjafield, J. G., Smilek, D. et Kingstone, A. (2010). *Cognition* (Fourth Edition éd.). Oxford University Press.

Benson, D. F. et Greenberg, J. P. (1969). Visual form agnosia: A specific defect in visual discrimination. *Archives of Neurology*, *20*(1), 82-89. https://doi.org/10.1001/archneur.1969.00480070092010

Benson, H., Séguin, M., Villeneuve, B., Marcheterre, B. et Lefebvre, N. (2004). *Physique 1: Mécanique* (3e éd., vol. 1)(3). Éditions du Renouveau pédagogique.

Berliner, T. et Cohen, D. J. (2011). The Illusion of Continuity: Active Perception and the Classical Editing System. *Journal of Film and Video*, *63*(1), 44-63. https://www.jstor.org/stable/pdf/10.5406/jfilmvideo.63.1.0044.pdf

Bertamini, M., Lawson, R., Jones, L. et Winters, M. (2010). The Venus effect in real life and in photographs. *Attention, Perception, & Psychophysics*, *72*(7), 1948-1964. https://doi.org/10.3758/APP.72.7.1948

Bertamini, M., Spooner, A. et Hecht, H. (2003). Naive Optics: Predicting and Perceiving Reflections in Mirrors. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *29*(5), 982-1002. https://bertamini.org/lab/Publications/BertaminiSpoonerHecht2003.pdf

Bertamini, M., Spooner, A. et Hecht, H. (2004). The Representation of Naïve Knowledge About Physics. Dans G. Malcolm (dir.), *Multidisciplinary Approaches to Visual Representations and Interpretations* (vol. 2, p. 27-36). Elsevier. https://www.bertamini.org/lab/Publications/BertaminiSpoonerHecht2004.pdf.

Bertenthal, B. I., Proffitt, D. R. et Cutting, J. E. (1984). Infant sensitivity to figural coherence in biomechanical motions. *Journal of Experimental Child Psychology*, *37*(2), 213-230. https://doi.org/10.1016/0022-0965(84)90001-8

Besen, E. et Hallett, B. (2008). *Animation Unleashed*. Michael Wiese Productions.

Bhavsar, P., Safro, I., Bouaynaya, N., Polikar, R. et Dera, D. (2017). Chapter 12 - Machine Learning in Transportation Data Analytics. Dans M. Chowdhury, A. Apon et K. Dey (dir.), *Data Analytics for Intelligent Transportation Systems* (p. 283-307). Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809715-1.00012-2.

Bickham, J. (2008). The whites of their eyes: the evolution of the distinctive sclera in humans. *Lambda Alpha Journal*, *38*, 20-29. http://hdl.handle.net/10057/2357

Biet, A. (réalis.). (2018). *Grands Canons* [Film]. Girelle Production (prod.).

Bird, B. (réalis.). (1999). *The Iron Giant* [Film]. A. Abbate et D. McAnuff (prod.). Warner Bros. Feature Animation.

Bird, B. (réalis.). (2004). *The Incredibles* [Film]. J. Walker (prod.). Walt Disney Studios Motion Pictures.

Bird, B. (réalis.). (2018). *The Incredibles 2* [Film]. J. Walker et N. P. Grindle (prod.). Walt Disney Studios Motion Pictures.

Bird-David, N. (1999). "Animism" Revisited: Personhood, Environment, and Relational Epistemology. *Current Anthropology*, *40*(S1), S67-S91. https://doi.org/10.1086/200061

Bjorklund, D. F. (2022). Human Evolution and the Neotenous Infant. Dans S. L. Hart et D. F. Bjorklund (dir.), *Evolutionary Perspectives on Infancy* (p. 19-38). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-76000-7_2.

Blackton, J. S. (réalis.). (1906). *Humorous Phases of Funny Faces* [Film]. J. S. Blackton (prod.). Vitagraph Company of America.

Blackton, J. S. (réalis.). (1907). *The Haunted Hotel* [Film]. J. S. Blackton (prod.). Vitagraph Company of America.

Blair, G., Pearson, I., Mitchell, P. et Grace, J. (1994-2001). *Reboot*. Claster Television et Entertainment One.

Blake, R. et Shiffrar, M. (2007). Perception of Human Motion. *Annual Review of Psychology*, *58*, 47-73. https://doi.org/10.1146/annurev.psych.57.102904.190152

Blakemore, S.-J. et Decety, J. (2001). From the Perception of Action to the Understanding of Intention. *Nature Reviews Neuroscience*, *2*(8), 561–567. https://doi.org/10.1038/35086023

Blatter, J. (2015). Screening the Psychological Laboratory: Hugo Münsterberg, Psychotechnics, and the Cinema, 1892–1916. *Science in Context*, *28*(1), 53-76. https://doi.org/10.1017/S0269889714000325

Block, B. (2008). *The Visual Story: Creating the Visual Structure of Film, TV and Digital Media* (Second éd.). Focal Press: Taylor & Francis.

Bobée, E. (2012). Monde « réel » et monde imaginaire. Le rôle de la bande son dans Eraserhead, de David Lynch. *Entrelacs - Cinéma et audiovisuel*, *8*, 1-10. https://entrelacs.revues.org/236

Boorstin, D. J. (2012). *The Creators: A History of Heroes of the Imagination* (vol. 1). Vintage Books.

Borel, F. (2011). *Comprendre la physique*. Eyrolles.

Boring, E. G. (1942). *Sensation and Perception in the History of Experimental Psychology*. Appleton-Century-Crofts.

Bould, M. (2005). *Film Noir: From Berlin to Sin City*. Columbia University Press.

Bowen, C. J. (2018a). *Grammar of the Edit* (Fourth éd.). Focal Press: Routledge.

Bowen, C. J. (2018b). *Grammar of the Shot* (Fourth éd.). Focal Press: Routledge.

Bowers, J. S. et Davis, C. J. (2012). Bayesian just-so stories in psychology and neuroscience. *Psychological Bulletin*, *138*(3), 389-414. https://doi.org/10.1037/a0026450

Bowser, E. (1994). *The Transformation of Cinema, 1907-1915, Volume 2, Part 2* (vol. 2). University of California Press.

Braddick, O. (1993). Segmentation versus integration in visual motion processing. *Trends in Neurosciences*, *16*(7), 263-268. https://www.academia.edu/download/50964795/0166-2236_2893_2990179-p20161219-24452-1hmoohj.pdf

Bradshaw, P. (11 décembre 2014). The Hobbit: The Battle of the Five Armies review – packs a huge chain-mail punch [Online]. *The Guardian (International Edition)*. https://www.theguardian.com/film/2014/dec/11/the-hobbit-the-battle-of-the-five-armies-review-packs-a-punch

Brannagh, K. (réalis.). (2011). *Thor* [Film]. K. Feige (prod.). Paramount Pictures.

Braun, M. F. et Bryan, A. (2006). Female waist-to-hip and male waist-to-shoulder ratios as determinants of romantic partner desirability. *Journal of Social and Personal Relationships*, *23*(5), 805-819. https://doi.org/10.1177/0265407506068264

Braunstein, M. L. (2014 [1976]). *Depth Perception Through Motion*. Academic Press.

Britannica. (s. d.). *Electromagnetic Spectrum Encyclopædia Britannica [Online]* (Online éd.) : Encyclopædia Britannica, Inc.

Britt, P., Ward, J. et Scott, B. (1959-1963). [Série télévisée]. *The Adventures of Rocky and Bullwinkle and Friends*. Jay Ward Productions; Gamma Productions; Producers Associates of Television, Inc.; Bullwinkle Studios (restored version).

Brooks, S. (2017). *Tradigital Animate CC: 12 Principles of Animation in Adobe Animate* (Illustrated éd.). CRC Press.

Brown, A., Corner, M., Crewther, D. P. et Crewther, S. G. (2018). Human Flicker Fusion Correlates With Physiological Measures of Magnocellular Neural Efficiency [Original Research]. *Frontiers in Human Neuroscience*, *12*(176), 1-7. https://doi.org/10.3389/fnhum.2018.00176

Brown, W. (2018). In Order to See, You Must Look Away: Thinking About the Eye. Dans T. Dwyer, C. Perkins, S. Redmond et J. Sita (dir.), *Seeing into Screens: Eye Tracking and the Moving Image* (p. 15-27). Bloomsbury Academic.

Browning, T. (réalis.). (1931). *Dracula* [Film]. T. Browning et C. J. Laemmle (prod.). Universal Pictures.

Buckley, C. E. (2013). Speed is Relative (Human and Animal Running Speeds): Are You a Cheetah, a Chicken, or a Snail? *Faculty and Staff Publications – Milner Library*, *46*. https://ir.library.illinoisstate.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1045&context=fpml

Buhrmann, T., Di Paolo, Ezequiel A. et Barandiaran, X. (2013). A Dynamical Systems Account of Sensorimotor Contingencies [Hypothesis and Theory]. *Frontiers in Psychology*, *4*, 1-19, Article 285. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2013.00285

Bukatman, S. (2011). Why I Hate Superhero Movies. *Cinema Journal*, *50*(3), 118-122. http://www.jstor.org/stable/41240727

Bukatman, S. (2014). Sculpture, Stasis, the Comics, and Hellboy. *Critical Inquiry*, *40*, 104-117. https://doi.org/10.1086/677334

Burkhardt, D. A. (1994). Light adaptation and photopigment bleaching in cone photoreceptors in situ in the retina of the turtle. *Journal of Neuroscience*, *14*(3), 1091-1105. https://www.jneurosci.org/content/jneuro/14/3/1091.full.pdf

Burleigh, T. J., Schoenherr, J. R. et Lacroix, G. L. (2013). Does the uncanny valley exist? An empirical test of the relationship between eeriness and the human likeness of digitally created faces. *Computers in Human Behavior*, *29*(3), 759-771.

Burr, D. et Thompson, P. (2011). Motion psychophysics: 1985–2010. *Vision Research*, *51*(13), 1431-1456. https://doi.org/10.1016/j.visres.2011.02.008

Burr, D. C. (1980). Motion smear. *Nature*, *284*(5752), 164-165. https://doi.org/10.1038/284164a0

Burr, D. C. et Ross, J. (2002). Direct Evidence That "Speedlines" Influence Motion Mechanisms. *Journal of Neuroscience*, *22*(19), 8661-8664. https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.22-19-08661.2002

Butler, M. et Joschko, L. (2009). Final Fantasy or the Incredibles. *Animation Studies*, *4*, 55-63. https://bit.ly/3SdjsIG

Buzsáki, G. (2006). *Rhythms of the Brain* (Illustrated éd.). Oxford University Press. https://bit.ly/3zJlpnR

Bydén, B. (2018). Introduction: The Study and Reception of Aristotle's *Parva naturalia*. Dans B. Bydén et F. Radovic (dir.), *The Parva Naturalia in Greek, Arabic and Latin Aristotelianism: Supplementing the Science of the Soul* (eBook éd., vol. 17, p. 1-50). Springer.

Cameron, J. (réalis.). (1991). *Terminator 2: Judgment Day* [Film]. J. Cameron (prod.). TriStar Pictures.

Cameron, J. (réalis.). (2009). *Avatar* [Film]. J. Cameron et J. Landau (prod.). 20th Century Fox.

Canemaker, J. (1977). *The Animated Raggedy Ann and Andy: An Intimate Look at the Art of Animation Its History, Techniques, and Artists*. Disney Editions.

Canemaker, J. (2001). *Walt Disney's Nine Old Men and the Art of Animation* (1 éd.). Disney Editions.

Cannon, R. et Hubley, J. (réalis.). (1950). *Gerald McBoing-Boing* [Film]. S. Bosustow et J. Hubley (prod.). Columbia Pictures.

Capizzi, D. C., Hulme, B. P., Fraser, C., Kettler, C. J., Loi, A. et Newlands, K. (2019-2021). [Série télévisée]. Dans D. Capizzi, *Carmen Sandiego*. WildBrain.

Caporael, L. R. (1986). Anthropomorphism and mechanomorphism: Two faces of the human machine. *Computers in Human Behavior*, *2*(3), 215-234. https://doi.org/10.1016/0747-5632(86)90004-X

Caporael, L. R. et Heyes, C. M. (1997). Why anthropomorphize? Folk psychology and other stories. *Anthropomorphism, Anecdotes, and Animals*, 59-73. https://www.academia.edu/download/30951714/1996whyanthropmorphise.pdf

Caramazza, A., McCloskey, M. et Green, B. (1981). Naive beliefs in "sophisticated" subjects: misconceptions about trajectories of objects. *Cognition*, *9*(2), 117-123. https://doi.org/10.1016/0010-0277(81)90007-X

Carello, C., Wagman, J. B. et Turvey, M. T. (2007). Acoustic Specification of Object Properties. Dans J. Anderson et B. Fisher Anderson (dir.), *Moving Image Theory: Ecological Considerations* (Paperback éd., p. 79-104). Southern Illinois University Press. (Publication originale en 2005). (Réimpression de : 2007).

Carroll, N. et Seeley, W. P. (2013). Cognitivism, Psychology, and Neuroscience: Movies as Attentional Engines. Dans A. P. Shimamura (dir.), *Psychocinematics: Exploring Cognition at the Movies* (Kindle éd., p. 53-75). Oxford University Press.

Cassidy, D., Holton, G. et Rutherford, J. (2015). *Comprendre la physique*. Presses polytechniques et universitaires romandes.

Cavanagh, P. (1992). Attention-Based Motion Perception. *Science*, *257*(5076), 1563-1565. https://www.jstor.org/stable/pdf/2879947.pdf

Cavandoli, O. C. (réalis.). (1971-1986). *La Linea* [Télévision]. (prod.). QUIPOS.

Cervantes, A. (réalis.). (2018). *Cry Babies Magic Tears* [Télévision]. B. Villanueva Ferragud et M. González Rivero (prod.). IMC toys et Netflix.

Chang, D. H. F. et Troje, N. F. (2009a). Acceleration carries the local inversion effect in biological motion perception. *Journal of Vision*, *9*(1), 1-17. https://doi.org/10.1167/9.1.19

Chang, D. H. F. et Troje, N. F. (2009b). Characterizing global and local mechanisms in biological motion perception. *Journal of Vision*, *9*(5), 1-10. https://doi.org/10.1167/9.5.8

Chartrand, M. (réalis.). (2002). *Âme noire* [Film]. Y. Leduc, P. Hébert et M. Jean (prod.). Office national du film du Canada.

Chartrand, M. (réalis.). (2012). *MacPherson* [Film]. M. Bélanger et R. Chenier (prod.). Office national du film du Canada.

Chatterjee, A. (2014). *The Aesthetic Brain: How We Evolved to Desire Beauty and Enjoy Art* (Kindle éd.). Oxford University Press.

Chauvet, E. (1879). *Le praxinoscope d'Émile Reynaud* [Le praxinoscope d'Émile Reynaud pour La Nature, revue des sciences - 1879, n° 1296, page 1133.]. La Nature, revue des sciences - 1879, n° 296, page 133. http://cnum.cnam.fr/CGI/fpage.cgi?4KY28.12/137/100/432/0/0

Chen, S., Wang, Z. et Ren, Y. (2019). A fast matching algorithm for the images with large scale disparity. *Mathematical Foundations of Computing - American Institute of Mathematical Sciences*, 1-15. https://doi.org/10.3934/mfc.2020021

Chi, K. R. (2016). Neural modelling: Abstractions of the mind. *Nature*, *531*(7592), S16-S17. https://doi.org/10.1038/531S16a

Chippaux, J.-P. (2002). *Venins de serpent et envenimations*. IRD éditions.

Cholodenko, A. (1991). Introduction. Dans A. Cholodenko (dir.), *The illusion of life: Essays on animation* (p. 9-36). Power Publications.

Cholodenko, A. (2004). The crypt, the haunted house, of cinema [Paper in: Haunted, Healy, Chris and Muecke, Stephen (eds).]. *Cultural Studies Review*, *10*(2), 99-113. https://search.informit.org/doi/pdf/10.3316/ielapa.200410576

Cholodenko, A. (2008). The Animation of Cinema. *The Semiotic Review of Books*, *18*(2), 1-10. https://semioticreview.com/ojs/index.php/sr/article/view/64

Cholodenko, A. (2009). Animation (Theory) as the Poematic: A Reply to the Cognitivists. *Animation Studies*, *4*, 1. https://journal.animationstudies.org/wp-content/uploads/2009/02/ASVol4Art1ACholodenko.pdf

Cholodenko, A. (2016). The Expanding Universe of Animation (Studies). *Animation Studies*, 99-113. https://bit.ly/3JCa3qy

Chomsky, N. (1956). Three Models for the Description of Language. *IRE Transactions on information theory*, *2*(3), 113-124. https://ieeexplore.ieee.org/iel5/18/22738/01056813.pdf

Chung, P. (réalis.). (1991-1995). *Æon Flux* [Série télévisée]. C. Winder (prod.). MTV Networks.

Coats, D. K. (2014, 11 mars 2014). *Is it true that we are born with our eyeballs already full grown?* . American Academy of Ophthalmology. Récupéré le 23/04/2022 de https://www.aao.org/eye-health/ask-ophthalmologist-q/are-eyes-fully-grown-at-birth

Cobb, M. (2020). *The Idea of the Brain: The Past and Future of Neuroscience*. Basic Books.

Coen, C. (2009). Simple but not simpler: Introduction CMOT Special Issue — Simple or Realistic. *Computational and Mathematical Organization Theory*, *15*(1), 1-4. https://doi.org/10.1007/s10588-008-9041-3

Coffin, P. et Renaud, C. (réalis.). (2010). *Despicable Me* [Film]. C. Meledandri, J. Cohen et J. Healy (prod.). Universal Pictures.

Cohl, É. (réalis.). (1908). *Fantasmagorie* [Film]. É. Cohl (prod.). Société des Établissements L. Gaumont.

Colman, A. M. (2015). *A Dictionary of Psychology* (Fourth éd.). Oxford University Press, USA.

Conway, B. R. (2009). Color Vision, Cones, and Color-Coding in the Cortex. *The Neuroscientist*, *15*(3), 274-290. https://doi.org/10.1177/1073858408331369

Cook, D. A. (2016). *A History of Narrative Film* (Fifth éd.). WW Norton & Company.

Cooley, J. (réalis.). (2019). *Toy Story 4* [Film]. M. Nielsen et J. Rivera (prod.). Walt Disney Pictures Motion Pictures.

Coon, D., Mitterer, J. O., Brown, P., Malik, R. et McKenzie, S. (2014). *Psychology: A Journey* (Fourth Canadian éd.). Nelson Education Limited.

Corridor Crew (réalis.). (2019). *VFX Artists React to Bad & Great CGi 6 [Online]* [Vidéo]. Corridor Crew (prod.). https://www.youtube.com/watch?v=5PiYGLR3Wv8

Coulson, M. (2004). Attributing emotion to static body postures: Recognition accuracy, confusions, and viewpoint dependence. *Journal of Nonverbal Behavior*, *28*(2), 117-139. https://doi.org/10.1023/B:JONB.0000023655.25550.be

Cournoyer, M. (réalis.). (1999). *Le chapeau* [Film]. F. Langdeau (prod.). Office national du film du Canada.

Coutrot, A. (2014). *Influence du son lors de l'exploration de scènes naturelles dynamiques: prise en compte de l'information sonore dans un modèle d'attention visuelle* [Thèse, Université de Grenoble]. https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01113073/document

Coutrot, A. et Guyader, N. (2014). How saliency, faces, and sound influence gaze in dynamic social scenes. *Journal of Vision*, *14*(8), 1-17. https://jov.arvojournals.org/article.aspx?articleid=2243926

Crafton, D. (1993). *Before Mickey: The Animated Film 1898-1928* (Paperback éd.). University of Chicago Press.

Crafton, D. (1997). *The Talkies: American Cinema's Transition to Sound, 1926-1931* (vol. 4 [1926-1931]). Charles Scribner's Sons.

Craig, A. D. (2009). Emotional Moments across Time: A Possible Neural Basis for Time Perception in the Anterior Insula. *Philosophical Transactions: Biological Sciences*, *364*(1525), 1933-1942. http://www.jstor.org/stable/40485969

Crick, F. (1984). Function of the thalamic reticular complex: the searchlight hypothesis. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *81*(14), 4586-4590. https://www.pnas.org/doi/epdf/10.1073/pnas.81.14.4586

Crick, F. (2008 [1988]). *What Mad Pursuit: A Personal View of Scientific Discovery* (Kindle éd.). Basic Books: Hachette Book Group Digital Inc.

Crosland, A. (réalis.). (1927). *The Jazz Singer* [Film]. D. F. Zanuck (prod.). Warner Bros. Pictures.

Cubitt, S. (2005). *The Cinema Effect*. MIT Press.

Cuong_Art. (2021, 16 août 2021). *Paddy Fields* [Photographie numérique]. Pixabay (Online), Pixabay (Online). https://pixabay.com/photos/paddy-fields-fields-agriculture-6540380/

Cusset, F. (2005). *French Theory. Foucault, Derrida, Deleuze & Cie et les mutations de la vie intellectuelle aux États-Unis*. La Découverte. https://doi.org/10.3917/dec.cusse.2005.01

Cutting, J. E. (1993). Perceptual Artifacts and Phenomena: Gibson's Role in the 20th Century. Dans *Advances in Psychology* (vol. 99, p. 231-260). Elsevier. http://cutting.psych.cornell.edu/pubs/75.pdf.

Cutting, J. E. (2002). Representing Motion in a Static Image: Constraints and Parallels in Art, Science, and Popular Culture. *Perception*, *31*(10), 1165-1193. https://doi.org/10.1068/p3318

Cutting, J. E., Brunick, K. L., DeLong, J. E., Iricinschi, C. et Candan, A. (2011). Quicker, faster, darker: Changes in Hollywood film over 75 years. *i-Perception*, *2*(6), 569-576. https://doi.org/10.1068/i0441aap

Cutting, J. E. et Kozlowski, L. T. (1977). Recognizing friends by their walk: Gait perception without familiarity cues. *Bulletin of the Psychonomic Society*, *9*(5), 353-356. https://doi.org/10.3758/BF03337021

Cutting, J. E. et Wang, R. F. (2000). Heading judgments in minimal environments: The value of a heuristic when invariants are rare. *Perception & Psychophysics*, *62*(6), 1146-1159. https://link.springer.com/content/pdf/10.3758/BF03212119.pdf

d'Arcy, C. P. (1765). Sur la durée de la sensation de la vue. Dans *Histoire de l'Académie Royale des Sciences Avec les Mémoires de Mathématique & Physique pour la même Année* (p. 18-22).

d'Incau, E. (2010). Paramétrer son matériel. II. La couleur. *L'Information Dentaire*, *92*(26), 28-35. https://bit.ly/3SDONoh

da Vinci, L. (1503-1506). *La Joconde* [Peinture]. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Mona_Lisa,_by_Leonardo_da_Vinci,_from_C2RMF_retouched.jpg

da Vinci, L. (2008). *Leonardo da Vinci: Notebooks*. Oxford University Press.

Daly, S., Xu, N., Crenshaw, J. et Zunjarrao, V. J. (2015). A Psychophysical Study Exploring Judder Using Fundamental Signals and Complex Imagery. *SMPTE Motion Imaging Journal*, *124*(7), 62-70. https://doi.org/10.5594/j18616

Damásio, A. R. (1994). *Descartes' Error: Emotion, Reason and the Human Brain*. Avon Books.

Darwin, C. (1872). *Expression of the Emotions in Man and Animals* (F. Darwin, dir. Second éd.). John Murray, Albemarle Street. http://darwin-online.org.uk

Darwin, C. (2003 [1872]). *The Origin Of Species: 150th Anniversary Edition* (1 éd.). Signet Clasics.

Davis, J., Hsieh, Y.-H. et Lee, H.-C. (2015). Humans perceive flicker artifacts at 500 Hz. *Scientific Reports*, *5*(1), 1-4. https://doi.org/10.1038/srep07861

Dawkins, R. (2016 [1989]). *The Selfish Gene: 40th Anniversary edition* (Second éd.). Oxford University Press.

de Vries, R. (1969). Constancy of Generic Identity in the Years Three to Six. *Monographs of the Society for Research in Child Development*, *34*(3), iii-67. https://doi.org/10.2307/1165683

Debattista, K., Bugeja, K., Spina, S., Bashford-Rogers, T. et Hulusic, V. (2018). Frame Rate vs Resolution: A Subjective Evaluation of Spatiotemporal Perceived Quality Under Varying Computational Budgets. *Computer Graphics Forum*, *37*(1), 363-374. https://doi.org/10.1111/cgf.13302

Deja, A. (2015). *The Nine Old Men: Lessons, Techniques, and Inspiration from Disney's Great Animators*. CRC Press.

Del Toro, G. (réalis.). (2004). *Hellboy* [Film]. L. Gordon, M. Richardson et L. Levin (prod.). Columbia Pictures.

Della Libera, C., Perlato, A. et Chelazzi, L. (2011). Dissociable Effects of Reward on Attentional Learning: From Passive Associations to Active Monitoring. *PLoS One*, *6*(4), 1-6, Article e19460. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0019460

Delluc, B. et Delluc, G. (1992). *L'art pariétal archaïque en Aquitaine* (vol. 28). Persée-Portail des revues scientifiques en SHS. https://www.persee.fr/docAsPDF/galip_0072-0100_1992_sup_28_1_2601.pdf

DeLucia, P. R. (2007). How Big Is an Optical Invariant? Dans M. A. Peterson, B. Gillam et H. A. Sedgwick (dir.), *In the Mind's Eye: Julian Hochberg on the Perception of Pictures, Films, and the World* (p. 473-482). Oxford University Press.

Demosthenes. (19 novembre 2012). HFR 3D: Peter Jackson explains what and why. *TheOneRing (Online)*. https://www.theonering.net/torwp/2012/11/19/65492-hfr-3d-peter-jackson-explains-what-and-why/

Denis, S. (2017). *Le cinéma d'animation: Techniques, esthétiques, imaginaires* (3e éd.). Armand Colin.

Deraspe, A.-M. et Gauthier, J. (2005). *De l'Homo sapiens aux premiers agriculteurs [livre audio]* (vol. 1). Coffragants.

Derrickson, S. (réalis.). (2016). *Doctor Strange* [Film]. K. Feige (prod.). Walt Disney Studios Motion Pictures.

Derrington, A. M., Krauskopf, J. et Lennie, P. (1984). Chromatic mechanisms in lateral geniculate nucleus of macaque. *The Journal of Physiology*, *357*(1), 241-265. https://doi.org/https://doi.org/10.1113/jphysiol.1984.sp015499

Derrington, A. M. et Lennie, P. (1984). Spatial and temporal contrast sensitivities of neurones in lateral geniculate nucleus of macaque. *The Journal of Physiology*, *357*(1), 219-240. https://doi.org/https://doi.org/10.1113/jphysiol.1984.sp015498

Dijksterhuis, A. et Smith, P. K. (2002). Affective habituation: subliminal exposure to extreme stimuli decreases their extremity. *Emotion*, *2*(3), 203-214. https://doi.org/10.1037/1528-3542.2.3.203

Dill, V., Flach, L. M., Hocevar, R., Lykawka, C., Musse, S. R. et Pinho, M. S. (2012). Evaluation of the uncanny valley in CG characters. (p. 511-513). International Conference on Intelligent Virtual Agents, Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-33197-8_62

Disney, W. (réalis.). (1929). *The Skeleton Dance* [Film]. W. Disney (prod.). Columbia Pictures.

Disney, W. (1955). The Story of the Animated Drawing (Saison 2, Episode 11). Dans W. Beaudine et W. Jackson, *Disneyland*.

Disney, W. et Iwerks, U. (réalis.). (1928). *Steamboat Willie* [Film]. Roy O. Disney et W. Disney (prod.). Celebrity Productions.

Disney, W. et Iwerks, U. (réalis.). (1929). *Plane Crazy* [Film]. W. Disney (prod.). Celebrity Pictures.

Disney, W., Sharpsteen, B., Luske, H., Ferguson, N., Hee, T., Jackson, W., Kinney, J. et Roberts, B. (réalis.). (1940). *Pinocchio* [Film]. W. Disney (prod.). RKO Radio Pictures.

Ditchburn, R. W. et Ginsborg, B. L. (1952). Vision with a Stabilized Retinal Image. *Nature*, *170*(4314), 36-37. https://doi.org/10.1038/170036a0

Dixson, A. F. et Dixson, B. J. (2011). Venus Figurines of the European Paleolithic: Symbols of Fertility or Attractiveness? *Journal of Anthropology*, *2011*, 569120. https://doi.org/10.1155/2011/569120

Dixson, B. J., Grimshaw, G. M., Linklater, W. L. et Dixson, A. F. (2010). Watching the Hourglass. *Human Nature*, *21*(4), 355-370. https://doi.org/10.1007/s12110-010-9100-6

Doane, M. A. (2002). *The Emergence of Cinematic Time: Modernity, Contingency, the Archive*. Harvard University Press.

Dobrez, L. (2013). The Perception of Depicted Motion. *Arts*, *2*(4), 383-446. https://www.mdpi.com/2076-0752/2/4/383/pdf

Donald, M. (1993). Human Cognitive Evolution: What We Were, What We Are Becoming. *Social Research*, *60*(1), 143-170. http://www.jstor.org/stable/40970731

Donald, M. (2006). Art and Cognitive Evolution. Dans M. Turner (dir.), *The artful mind: Cognitive science and the riddle of human creativity* (vol. 3, p. 3-20). Oxford University Press.

Donen, S. (réalis.). (1951). *Royal Wedding* [Film]. A. Freed (prod.). Loew's, Inc.

Donen, S. (réalis.). (1986). *Lionel Richie - Dancing On The Ceiling* [Vidéoclip]. S. Donen et G. Goodwin (prod.). Music Television (MTV). https://youtu.be/ovo6zwv6DX4

Dong, B., Holm, L. et Bao, M. (2017). Cortical mechanisms for afterimage formation: Evidence from interocular grouping. *Scientific Reports*, *7*(1), 1-13. https://doi.org/10.1038/srep41101

Doyle, A. C. (1976). *The Original Illustrated Sherlock Holmes*. Castle Books.

Doyle, A. C. (1976 [1902]). The Hound of the Baskervilles. Dans *The Original Illustrated Sherlock Holmes* (p. 341-445). Castle Books.

Drouin, J. (réalis.). (1976). *Le paysagiste* [Film]. G. Sarault (prod.). Office national du film du Canada.

Droulers, O., Lajante, M. et Lacoste-Badie, S. (2013). Apport de la démarche neuroscientifique à la mesure des émotions: importation d'une nouvelle méthode de mesure de l'activité électrodermale. *Décisions Marketing*, *72* (Octobre-Décembre), 87-101. https://www.jstor.org/stable/pdf/44815296.pdf

Drymon, D. et Kluska, J. (réalis.). (2022). *Hotel Transylvania: Transformania* [Film]. A. D. Goldstone (prod.). Amazon Studios.

Dubois, J. et VanRullen, R. (2011). Visual Trails: Do the Doors of Perception Open Periodically? *PLoS biology*, *9*(5), 1-4, Article e1001056. https://doi.org/10.1371/journal.pbio.1001056

Duchamp, M. (1912). *Nu descendant un escalier n° 2*.

Dutriaux, L. et Gyselinck, V. (2016). Cognition incarnée : un point de vue sur les représentations spatiales [Embodied cognition: A perspective on spatial representations]. *L'Année psychologique*, *116*(3), 419-465. https://doi.org/10.4074/s0003503316000373

Eagleman, D. M. (2008). Human time perception and its illusions. *Current Opinion in Neurobiology*, *18*(2), 131-136. https://doi.org/10.1016/j.conb.2008.06.002

Eagleman, D. M. (2011). *Incognito: The Secret Lives of the Brain* (Reprint éd.). Pantheon Books.

Eco, U. (2014 [1986]). *Travels in Hyperreality - Essays* (Kindle éd.; W. Weaver, trad.). Houghton Mifflin Harcourt.

Eddy, T. J., Gallup, G. G. et Povinelli, D. J. (1993). Attribution of Cognitive States to Animals: Anthropomorphism in Comparative Perspective. *Journal of Social Issues*, *49*(1), 87-101. https://www.academia.edu/download/47120218/Attribution_of_Cognitive_States_to_Anima20160708-5086-7qii20.pdf

Edwards, B. (2012). *Drawing on the Right Side of the Brain* (The Definitive, 4th Edition éd.). Penguin Publishing Group.

Ehlers, M. (2018a). *Closeup Photo of Cheetah* [Photographie]. Pexels.com. https://www.pexels.com/photo/closeup-photo-of-cheetah-789580/

Ehlers, M. (2018b). *Green, Purple, and Blue Peacock Feather Digital Wallpaper* [Photographie]. Pexels.com. https://www.pexels.com/photo/green-purple-and-blue-peacock-feather-digital-wallpaper-1300345/

Ehrhart, K. H. et Ziegert, J. C. (2005). Why Are Individuals Attracted to Organizations? *Journal of management*, *31*(6), 901-919. https://doi.org/10.1177/0149206305279759

Eisenstein, S. M. (2017 [1986]). *On Disney* (J. Leyda, dir.; A. Upchurch, trad.). Seagull Books.

Elchlepp, H., Monsell, S. et Lavric, A. (2021). How Task Set and Task Switching Modulate Perceptual Processes: Is Recognition of Facial Emotion an Exception? *Journal of Cognition*, *4*(1), 36-36. https://doi.org/10.5334/joc.179

Epley, N. (2015). *Mindwise: How We Understand What Others Think, Believe, Feel, and Want* (Illustrated éd.). Vintage.

Epley, N., Waytz, A., Akalis, S. et Cacioppo, J. T. (2008). When We Need a Human: Motivational Determinants of Anthropomorphism. *Social Cognition*, *26*(2), 143-155. https://doi.org/10.1521/soco.2008.26.2.143

Epley, N., Waytz, A. et Cacioppo, J. T. (2007). On Seeing Human: A Three-Factor Theory of Anthropomorphism. *Psychological Review*, *114*(4), 864-886. https://doi.org/10.1037/0033-295X.114.4.864

Eriksen, C. W. et Yeh, Y.-Y. (1985). Allocation of attention in the visual field. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *11*(5), 583-597. https://doi.org/10.1037/0096-1523.11.5.583

Erland, J. (2016). Creative Frame Rates. *Pickfair Institute for Cinematic Studies (Online)*. http://www.pickfairinstitute.org/creative-frame-rates/

Exner, S. (1875a). Experimentelle Untersuchungen der einfachsten psychischen Processe: III. Abhandlung, Der persönlichen Gleichung [Recherches expérimentales sur les processus psychologiques les plus simples: III. Traité, l'équation personnelle]. *Pflüger's Archiv für die gesammte Physiologie des Menschen und der Thiere*, *11*(1), 403-432. https://digitalesammlungen.uni-weimar.de/viewer/fulltext/lit2173/1/

Exner, S. (1875b). *Über das Sehen von Bewegungen und Theorie des zusammengesetzten Auges [À propos de la vision des mouvements et de la théorie des yeux composés].* Sitzungs-Berichte der Wiener Akademie der Wissenschaften, mathematisch-naturwissenschaftliche Klasse 72, Abt. 3 [Rapports de réunion de l'Académie des sciences de Vienne, Classe de mathématiques et sciences naturelles, Traité 3]. https://archive.org/details/b21642825

Exner, S. (1881). *Untersuchungen über die Localisation der Functionen in der Grosshirnrinde des Menschen (Studies on the localisation of functions in the cerebral cortex of humans)*. Wilhelm Braumüller. https://bit.ly/3bX1pGx

Exner, S. (1888). Üeber optische Bewegungsempfindungen. *Sonderdruck aus dem Biologischen Centralblatt*, *VIII*(14), 437-438. https://bit.ly/3SKSEQq

Eyssel, F. et Kuchenbrandt, D. (2011). Manipulating anthropomorphic inferences about NAO: The role of situational and dispositional aspects of effectance motivation. (p. 467-472). 2011 RO-MAN, IEEE. https://doi.org/10.1109/ROMAN.2011.6005233

Falk, N. (1941). *How to Make Animated Cartoons: The History and Technique*. Foundation Books.

Fancher, R. E. et Rutherford, A. (2011). *Pioneers of Psychology: A History* (Fifth éd.). W. W. Norton & Company, Inc.

Fara, P. (2015). Newton shows the light: a commentary on Newton (1672) 'A letter…containing his new theory about light and colours…'. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, *373*(2039), 1-11. https://doi.org/10.1098/rsta.2014.0213

Faraday, M. (1831). On a Peculiar Class of Optical Deceptions. Dans *The Journal of the Royal Institution of Great Britain* (vol. 1, p. 205-223). John Murray.

Farah, M. J. (2004). *Visual Agnosia* (Second éd.). A Bradford Book: The MIT press. https://pdfs.semanticscholar.org/fc6f/3cd0bb30b0c64eeadc3ceb09c25ec1da927d.pdf

Feldman, J. (2015). Bayesian models of perception of perceptual organization. Dans J. Wagemans (dir.), *The Oxford Handbook of Perceptual Organization* (1 éd., p. 1008-1026). Oxford University Press. https://bit.ly/3w1QeDs.

Fell, S. et Butler, C. (réalis.). (2012). *ParaNorman* [Film]. A. Sutner et T. Knight (prod.). Focus Features.

Fénelon, G., Mahieux, F., Huon, R. et Ziégler, M. (2000). Hallucinations in Parkinson's disease: prevalence, phenomenology and risk factors. *Brain*, *123*(4), 733-745. https://doi.org/10.1093/brain/123.4.733

Ferguson, N. et Young, H. (réalis.). (1945). *The Three Caballeros* [Film]. L. Walt Disney Productions (prod.).

Filmmaker IQ (réalis.). (2015). *The History of Frame Rate for Film [online]* FilmmakerIQ.com (prod.). https://youtu.be/mjYjFEp9Yx0

Finch, C. (1973). *The Art of Walt Disney: From Mickey Mouse to the Magic Kingdom* (M. L. Kaplan, dir.). Harry N. Abrams Inc.

Fiolhais, C. (2016). Physics and biology of colour and vision. *Lights on... cultural heritage and museums!*, 18-33. http://hdl.handle.net/10316/40602

Fischinger, O. (réalis.). (1933). *Kreise* [Cercles] [Film]. F. Studio (prod.).

Flatau, T. S. et Giering, H. (1899). *Psychologischer Verein zu Berlin. Sitzungsberichte [Association psychologique de Berlin. Rapports de réunion] Zeitschrift für Pädagogische Psychologie [Journal de psychologie de l'éducation]* (vol. 1, pp. 95-100).

Flavell, J. H. (1986). The Development of Children's Knowledge About the Appearance–Reality Distinction. *American Psychologist*, *41*(4), 418-425. https://bingschool.stanford.edu/sites/bingschool/files/1986_flavell.pdf

Flavell, J. H., Green, F. L., Flavell, E. R., Watson, M. W. et Campione, J. C. (1986). Development of Knowledge About the Appearance-Reality Distinction. *Monographs of the Society for Research in Child Development*, i-87. http://www.jstor.com/stable/1165866

Fledelius, H. C., Christensen, A. S. et Fledelius, C. (2014). Juvenile eye growth, when completed? An evaluation based on IOL-Master axial length data, cross-sectional and longitudinal. *Acta Ophthalmologica*, *92*(3), 259-264. https://doi.org/10.1111/aos.12107

Fleischer, D. (réalis.). (1924). *Mother Pin a Rose on Me* [Film]. M. Fleischer (prod.). Red Seal Pictures.

Fleischer, D. (réalis.). (1926 [muet]/1928 [son]). *My Old Kentucky Home* [Film]. M. Fleischer (prod.). Red Seal Pictures.

Fleischer, D. (réalis.). (1933). *Snow-White* [Film]. M. Fleischer (prod.). Paramount Pictures.

Fleischer, M. (réalis.). (1920). *The Ouija Board* [Film]. J. R. B. Studios (prod.). Goldwyn. https://archive.org/details/OutOfTheInkwellTheOuijaBoard

Fleischer, M. (1940). *Fleischer Studios - Standard Production Reference* [Handbook]. https://archive.org/details/fleischer-studio-standard-production-reference

Fleischer, M., Buchwald, S., Gordon, D., Kneitel, S. et Sparber, I. (1941-1943). Dans D. Fleischer, S. Kneitel, I. Sparber et D. Gordon, *Superman*. Paramount Pictures et Warner Bros. Pictures.

Fleischer, R. (2005). *Out of the Inkwell: Max Fleischer and the Animation Revolution*. University Press of Kentucky.

Fleischer Studios. (2015). *100 Years of Rotoscoping!* Récupéré le 23 février 2020 de https://www.fleischerstudios.com/rotoscope.html

Forestiero, S. (2013). *Natural selection*. Dans A. Runehov et L. Oviedo (dir.), *Encyclopedia of Sciences and Religions* (pp. 1414-1415). New York : Springer-Verlag Inc.

Foster, D. H., Thorson, J., McIlwain, J. T. et Biederman-Thorson, M. (1981). The fine-grain movement illusion: a perceptual probe of neuronal connectivity in the human visual system. *Vision Research*, *21*(7), 1123-1128. https://doi.org/10.1016/0042-6989(81)90015-8

Freeman, A. (1999). Cracking the code of art's allure. *UNESCO COURIER*, *52*, 40-42.

Freud, E., Ganel, T., Shelef, I., Hammer, M. D., Avidan, G. et Behrmann, M. (2017). Three-Dimensional Representations of Objects in Dorsal Cortex are Dissociable from Those in Ventral Cortex. *Cerebral Cortex*, *27*(1), 422-434. https://doi.org/10.1093/cercor/bhv229

Freud, E., Plaut, D. C. et Behrmann, M. (2016). 'What' Is Happening in the Dorsal Visual Pathway. *Trends in Cognitive Sciences*, *20*(10), 773-784. https://doi.org/10.1016/j.tics.2016.08.003

Freud, E., Robinson, A. K. et Behrmann, M. (2018). More than Action: The Dorsal Pathway Contributes to the Perception of 3-D Structure. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *30*(7), 1047-1058. https://doi.org//10.1162/jocn_a_01262

Freud, S. (2003). *The Uncanny*. Penguin Classics.

Freyd, J. J. (1983a). The mental representation of movement when static stimuli are viewed. *Perception & Psychophysics*, *33*(6), 575-581. https://link.springer.com/content/pdf/10.3758/BF03202940.pdf

Freyd, J. J. (1983b). Representing the dynamics of a static form. *Memory & Cognition*, *11*(4), 342-346. https://link.springer.com/content/pdf/10.3758/BF03202447.pdf

Friedkin, W. (réalis.). (1973). *The Exocist* [Film]. W. P. Blatty (prod.). Warner Bros. Pictures.

Friedman, S. L. et Stevenson, M. B. (1975). Developmental Changes in the Understanding of Implied Motion in Two-Dimensional Pictures. *Child Development*, 773-778. https://doi.org/https://www.jstor.org/stable/1128578

Frisby, J. P. et Stone, J. V. (2010). *Seeing: The Computational Approach to Biological Vision* (Second éd.). MIT Press Cambridge.

Furnham, A., Moutafi, J. et Baguma, P. (2002). A cross-cultural study on the role of weight and waist-to-hip ratio on female attractiveness. *Personality and Individual Differences*, *32*(4), 729-745. https://doi.org/10.1016/S0191-8869(01)00073-3

Furniss, M. (1998). *Art in Motion: Animation Aesthetics* (Revised éd.). John Libbey Publishing Ltd.

Furniss, M. (dir.). (2005). *Chuck Jones: Conversations*. University Press of Mississippi.

Furniss, M. (2008). *The Animation Bible: A Guide to Everything – from Flipbooks to Flash*. Laurence King.

Furniss, M. (2016). *A New History of Animation*. Thames & Hudson.

Gabilliet, J.-P. (2007). Cartoon America. *Transatlantica. Revue d'études américaines. American Studies Journal*(1), 1-5. http://journals.openedition.org/transatlantica/1251

Galifret, Y. (2006). Visual persistence and cinema? *Comptes rendus biologies*, *329*(5-6), 369-385. https://doi.org/10.1016/j.crvi.2006.03.008

Gallivan, J. P. et Goodale, M. A. (2018). Chapter 23 - The dorsal "action" pathway. Dans G. Vallar et H. B. Coslett (dir.), *Handbook of Clinical Neurology* (vol. 151, p. 449-466). Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63622-5.00023-1.

Galloway, A. R. (2014). Polygraphic Photography and the Origins of 3-D Animation. Dans K. Beckman (dir.), *Animating film theory* (p. 54-81). Duke University Press.

Galton, F. (1879). Composite Portraits, Made by Combining Those of Many Different Persons Into a Single Resultant Figure. *The Journal of the Anthropological Institute of Great Britain and Ireland*, *8*, 132-144. https://doi.org/10.2307/2841021

Galton, F. (1889). Personal Identification and Description. *Journal of anthropological institute of Great Britain and Ireland*, 177-191. https://www.jstor.org/stable/2842415

Gangestad, S. W. et Scheyd, G. J. (2005). The Evolution of Human Physical Attractiveness. *Annual Review of Anthropology*, *34*, 523-548. https://doi.org/10.1146/annurev.anthro.33.070203.143733

Gardner, H. (1985). *The Mind's New Science: A History of the Cognitive Revolution*. Basic Books.

Gaudreault, A. (2008). *Cinéma et attraction: pour une nouvelle histoire du cinématographe*. CNRS.

Geisler, W. S. (1999). Motion streaks provide a spatial code for motion direction. *Nature*, *400*(6739), 65-69. https://doi.org/10.1038/21886

Geller, T. (2008). Overcoming the Uncanny Valley. *IEEE Computer Graphics and Applications*, *28*(4), 11-17. https://doi.org/10.1109/MCG.2008.79

Gepshtein, S. et Kubovy, M. (2007). The lawful perception of apparent motion. *Journal of Vision*, *7*(8), 1-14. https://doi.org/10.1167/7.8.9

Gerger, G. et Leder, H. (2015). Titles change the esthetic appreciations of paintings. *Frontiers in Human Neuroscience*, *9*. https://doi.org/10.3389/fnhum.2015.00464

Geronimi, C., Jackson, W. et Luske, H. (réalis.). (1951). *Alice in Wonderland* [Film]. W. Disney (prod.).

Geronimi, C., Jackson, W. et Luske, H. (réalis.). (1953). *Peter Pan* [Film]. W. Disney (prod.). RKO Radio Pictures.

Gerrig, R. J. (1993). *Experiencing Narrative Worlds: On the Psychological Activities of Reading*. Westview Press. http://www.jstor.org/stable/j.ctt1dr37cb

Gersztenkorn, D. et Lee, A. G. (2015). Palinopsia revamped: A systematic review of the literature. *Survey of Ophthalmology*, *60*(1), 1-35. https://doi.org/10.1016/j.survophthal.2014.06.003

Giardina, C. (3 août 2012). Siggraph: Biz Braces for Higher Frame Rates in Wake of 'The Hobbit' [Online]. *The Hollywood Reporter*. https://www.hollywoodreporter.com/news/general-news/siggraph-biz-braces-higher-frame-357830/

Giardina, C. (8 août 2012). Producer Jon Landau: Filmmakers, Not Studios, Should Decide the Fate of Higher Frame Rates [Online]. *The Hollywood Reporter*. https://www.hollywoodreporter.com/news/general-news/producer-jon-landau-frame-rates-siggraph-peter-jackson-trumbull-360089/

Giardina, C. (11 février 2012). Douglas Trumbull: It's Time to Get Back to Why People Go to the Movies. *The Hollywood Reporter (Online)*. https://www.hollywoodreporter.com/news/general-news/oscar-arrilaser-film-recorder-douglas-trumbull-289543/

Giardina, C. (24 avril 2012). CinemaCon 2012: Peter Jackson Debuts 'The Hobbit' Footage, Touts 48 Frame-Per-Second Exhibition [Online]. *The Hollywood Reporter*. https://www.hollywoodreporter.com/movies/movie-news/cinemacon-2012-peter-jackson-hobbit-48-fps-exhibition-lord-of-rings-315685/

Gibson, J. J. (1947). *Motion Picture Testing and Research: Report No.7*. US Government Printing Office. https://archive.org/details/DTIC_AD0651783

Gibson, J. J. (1957). Optical Motions and Transformations as Stimuli for Visual Perception. *Psychological Review*, *64*(5), 288-295. https://doi.org/10.1037/h0044277

Gibson, J. J. (1966). *The Senses Considered as Perceptual Systems* (L. Carmichael, dir. vol. 2). George Allen & Unwin Ltd.

Gibson, J. J. (1986 [1979]). *The Ecological Approach to Visual Perception* (Paperback éd.). Lawrence Erlbaum Associates, Inc. (Publication originale en 1979)

Gibson, J. J. (2015 [1979]). *The Ecological Approach to Visual Perception: Classic Edition*. Psychology Press: Taylor & Francis. https://doi.org/10.4324/9781315740218

Gibson, J. J. (2015 [1986]). *The Ecological Approach to Visual Perception (Classic Edition)*. Psychology Press: Taylor Francis.

Gillett, B. (réalis.). (1932). *Flowers and Trees* [Film]. W. Disney (prod.). United Artists.

Gillett, B. (réalis.). (1933). *The Three Little Pigs* [Film]. W. Disney (prod.). United Artists.

Gilovich, T., Savitsky, K. et Medvec, V. H. (1998). The Illusion of Transparency: Biased Assessments of Others' Ability to Read One's Emotional States. *Journal of Personality and Social Psychology*, *75*(2), 332-346. https://bit.ly/3PIL6AE

Godfrey, R. T. (1984). *English Caricature, 1620 to the Present: Caricaturists and Satirists, Their Art, Their Purpose and Influence*. Victoria & Albert Museum.

Goldberg, M. (22 octobre 2019). James Cameron Explains Why the New 'Avatar' Movies Won't Be in High Frame Rate. *Collider (Online)*. https://collider.com/avatar-sequels-no-hfr-james-cameron/

Goldstein, E. B. et Cacciamani, L. (2022). *Sensation and Perception* (11th éd.). Cengage Learning Inc.

Gombrich, E. H. et Kris, E. (1940). *Caricature* (p. 31). London : Harmondsworth: The King Penguin Books.

Goodale, M. A. et Milner, A. D. (1992). Separate visual pathways for perception and action. *Trends in Neurosciences*, *15*(1), 20-25. http://174.143.211.73/~ellenlau/courses/nacs642/Goodale_1992.pdf

Goodale, M. A. et Milner, A. D. (2006). One brain-two visual systems. *Psychologist*, *19*(11), 660-663.

Goodale, M. A. et Milner, A. D. (2013). *Sight Unseen: An Exploration of Conscious and Unconscious Vision* (Second éd.). Oxford University Press.

Goodman, M. (1997). *The Roman World*. Routledge.

Goucher, A. et Riley, T. (dir.). (2009). *Beautiful Testing: Leading Professionals Reveal How They Improve Software*. O'Reilly Media.

Gould, S. J. (1980). *The Panda's Thumb: More Reflections in Natural History*. W. W. Norton & Company Ltd.

Grammer, K. et Thornhill, R. (1994). Human (Homo sapiens) facial attractiveness and sexual selection: the role of symmetry and averageness. *Journal of Comparative Psychology*, *108*(3), 233-242. https://doi.org/10.1037/0735-7036.108.3.233

Green, B. F., McCloskey, M. et Caramazza, A. (1980). The Relation of Knowledge to Problem Solving, with Examples from Kinematics. *Thinking and Learning: Research and Open Questions*, 127-139. https://files.eric.ed.gov/fulltext/ED223419.pdf

Gregg, V. R., Winer, G. A., Cottrell, J. E., Hedman, K. E. et Fournier, J. S. (2001). The persistence of a misconception about vision after educational interventions. *Psychonomic Bulletin & Review*, *8*(3), 622-626. https://link.springer.com/content/pdf/10.3758/BF03196199.pdf

Gregory, R. L. (1973 [1966]). *Eye and Brain: The Psychology of Seeing* (Second éd.). World University Library.

Gregory, R. L. (2015 [1997]). *Eye and Brain: The Psychology of Seeing* (Fifth éd.). Princeton University Press.

Griffith, D. W. (réalis.). (1916). *Intolerance* [Film]. D. W. Griffith (prod.). Triangle Distributing Corporation.

Griffiths, A. (2008). *Shivers Down Your Spine: Cinema, Museums, and the Immersive View*. Columbia University Press.

Groening, M. (1989-2022). *The Simpsons*. 20th Television.

Grossmann, I., Huynh, A. C. et Ellsworth, P. C. (2016). Emotional complexity: Clarifying definitions and cultural correlates. *Journal of Personality and Social Psychology*, *111*(6), 895–916. https://doi.org/10.1037/pspp0000084

Gunning, T. (2004). Le cinéma des premiers temps. *Trafic*(50), 327-336. https://papyrus.bib.umontreal.ca/xmlui/bitstream/handle/1866/21076/gunning_tom_2004_le_cinema_des_premiers_temps_.pdf?sequence=1

Gunning, T. (2012). Hand and Eye: Excavating a New Technology of the Image in the Victorian Era. *Victorian Studies*, *54*(3), 495-516. https://doi.org/10.2979/victorianstudies.54.3.495

Gunning, T. (2014). Animating the Instant: The Secret Symetry between Animation and Photography. Dans K. Beckman (dir.), *Animating film theory* (p. 37-53). Duke University Press.

Guthrie, S. E. (1995). *Faces in the Clouds: A New Theory of Religion* (Paperback éd.). Oxford University Press.

Hahn, D. et Miller-Zarneke, T. (2015). *Before Ever After: The Lost Lectures of Walt Disney's Animation Studio*. Disney Editions.

Halas, J. (1974). *Computer Animation*. Focal Press.

Hall, M. H. (2005 [1968]). A conversation with Ray Bradbury and Chuck Jones, the fantasy makers. Dans M. Furniss (dir.), *Chuck Jones: Conversations* (p. 3-19). University Press of Mississippi. (Publication originale en Psychology Today [April 1968], Vol. 37, pp. 28-37).

Hammack, B. et Kranz, S. (réalis.). (2015). *The Mechanics of a Film Projector [Online]* [Vidéo]. (prod.). https://youtu.be/En__V0oEJsU

Hammerschmidt, D. et Wöllner, C. (2018). The impact of music and stretched time on pupillary responses and eye movements in slow-motion film scenes. *Journal of Eye Movement Research*, *11*(2).

Hammond, C. (2013). *Time Warped: Unlocking the Mysteries of Time Perception* (First US Edition éd.). Harper Perennial.

Han, M., Todo, Y. et Tang, Z. (2021). Mechanism of Motion Direction Detection Based on Barlow's Retina Inhibitory Scheme in Direction-Selective Ganglion Cells. *Electronics*, *10*(14), 1-9, Article 1663. https://doi.org/10.3390/electronics10141663

Hand, D. (réalis.). (1938). *Snow White and the Seven Dwarfs* [Film]. W. Disney (prod.). RKO Radio Pictures.

Hand, D. (réalis.). (1942). *Bambi* [Film]. W. Disney (prod.). RKO Radio Pictures.

Handled Novelty, Song C.-Charles K. Harris and Max F. W. (1924) *Film Daily* (p. 11). New York : Wid's Films and Film Folks, Inc.

Hanna, W. et Barbera, J. (1960-1966). [Série télévisée]. *The Flinstones*. Hanna-Barbera Productions; Screen Gems Television.

Hanna, W. et Barbera, J. (1969-1970). [Série télévisée]. *Scooby Doo, Where Are You!* Hanna-Barbera Productions; Taft Broadcasting.

Hannavy, J. (2013). *Plateau, Joseph Antoine Ferdinand (1801–1883)*. Dans J. Hannavy (dir.), *Encyclopedia of Nineteenth-Century Photography*. New York et Londres : Taylor & Francis.

Harari, Y. N. (2016). *Sapiens: A Brief History of Humankind* (Paperback éd.). McClelland & Stewart.

Hardawar, D. (16 octobre 2019). Ang Lee chases cinema's 120FPS future with 'Gemini Man'. *Engadget [online]*. https://www.engadget.com/2019-10-16-ang-lee-gemini-man-interview-hfr-120fps.html

Harris, M. (1995). *Cultural Anthropology* (Fourth éd.). HarperCollins College Publishers.

Harrison, J. (2009). *Tessellated Pavement Sunrise Landscape* [Photographie numérique]. Wikipedia. https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/9f/Tessellated_Pavement_Sunrise_Landscape.jpg

Hashimoto, H. (1966). A Phenomenal Analysis of Social Perception. *Journal of Child Development*, *2*, 1-26.

Hassenstein, B. et Reichardt, W. (1956). Systemtheoretische analyse der zeit-, reihenfolgen-und vorzeichenauswertung bei der bewegungsperzeption des rüsselkäfers chlorophanus. *Zeitschrift für Naturforschung B*, *11*(9-10), 513-524. https://www.degruyter.com/document/doi/10.1515/znb-1956-9-1004/pdf

Hebb, D. O. (2002 [1949]). *The Organization of Behavior: A Neuropsychological Theory*. Lawrence Erlbaum Associates, Publishers.

Hedge, C., Oberauer, K. et Leonards, U. (2015). Selection in spatial working memory is independent of perceptual selective attention, but they interact in a shared spatial priority map. *Attention, Perception, & Psychophysics*, *77*(8), 2653-2668. https://link.springer.com/article/10.3758/s13414-015-0976-4

Heider, F. et Simmel, M. (1944a). An Experimental Study of Apparent Behavior. *The American Journal of Psychology*, *57*(2), 243-259. https://www.jstor.org/stable/1416950

Heider, F. et Simmel, M. (réalis.). (1944b). *The Heider-Simmel Illusion (online)* [Film]. (prod.). https://youtu.be/8FIEZXMUM2I

Helmholtz, H. v. (2014 [1860]). The Young-Helmholtz Theory of Color Vision. Dans W. Dennis (dir.), *Readings In The History Of Psychology* (EBook éd., p. 245-251). Read Books Limited.

Herbert, S. (2013). *Plateau, Joseph Antoine Ferdinand (1801–1883): Belgian physicist, inventor of the phenakistiscope*. Dans J. Hannavy (dir.), *Encyclopedia of Nineteenth-Century Photography* (pp. 1133-1134). New York et Londres : Taylor & Francis.

Hergenhahn, B. R. (2008). *An Introduction to the History of Psychology* (Sixth éd.). Wadsworth.

Hess, R. (2013). *Tradigital Blender: A CG Animator's Guide to Applying the Classical Principles of Animation*. Focal Press.

Hickey, C., Chelazzi, L. et Theeuwes, J. (2010). Reward Guides Vision when It's Your Thing: Trait Reward-Seeking in Reward-Mediated Visual Priming. *PLoS One*, *5*(11), 1-5, Article e14087. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0014087

Hill, H. et Pollick, F. E. (2000, May). Exaggerating Temporal Differences Enhances Recognition of Individuals from Point Light Displays. *Psychological Science*, *11*(3), 223-228. https://doi.org/10.1111/1467-9280.00245

Hirai, M., Chang, D. H. F., Saunders, D. R. et Troje, N. F. (2011). Body Configuration Modulates the Usage of Local Cues to Direction in Biological-Motion Perception. *Psychological Science*, *22*(12), 1543-1549. https://doi.org/10.1177/0956797611417257

Hirai, M., Saunders, D. R. et Troje, N. F. (2011). Allocation of attention to biological motion: Local motion dominates global shape. *Journal of Vision*, *11*(3), 1-11. https://jov.arvojournals.org/article.aspx?articleid=2191843

Ho, C.-C. et MacDorman, K. F. (2010). Revisiting the uncanny valley theory: Developing and validating an alternative to the Godspeed indices. *Computers in Human Behavior*, *26*(6), 1508-1518. https://doi.org/10.1016/j.chb.2010.05.015

Ho, C.-C., MacDorman, K. F. et Pramono, ZA D. (2008). Human emotion and the uncanny valley: a GLM, MDS, and Isomap analysis of robot video ratings. (p. 169-176). International Conference on Human-Robot Interaction (HRI), 2008 3rd ACM/IEEE IEEE.https://ieeexplore.ieee.org/document/6249430

Hochberg, J. (1994). James Jerome Gibson. Dans N. A. Sciences et O. H. Secretary (dir.), *Biographical Memoirs* (vol. 63, p. 151-171). National Academies Press. http://www.nasonline.org/publications/biographical-memoirs/memoir-pdfs/gibson-james.pdf.

Hochberg, J. et Galper, R. E. (1967). Recognition of faces: I. An exploratory study. *Psychonomic Science*, *9*(12), 619-620. https://doi.org/10.3758/BF03327918

Hoffer, T. W. (1981). *Animation: A Reference Guide* (1 éd.). Greenwood Publishing Group.

Holliday, C. (2021). Rewriting the stars: Surface tensions and gender troubles in the online media production of digital deepfakes. *Convergence*, *27*(4), 899-918. https://ses.library.usyd.edu.au/bitstream/handle/2123/21052/sunderland_pw_thesis.pdf?sequence=2

Honkavaara, J., Koivula, M., Korpimäki, E., Siitari, H. et Viitala, J. (2002). Ultraviolet vision and foraging in terrestrial vertebrates. *Oikos*, *98*(3), 505-511. https://doi.org/10.1034/j.1600-0706.2002.980315.x

Hopwood, H. V. et Foster, R. B. (1915). *Hopwood's Living Pictures: Their History, Photo-production, and Practical Working*. Hatton Press.

Horn, G. M. (2006). *Movie Animation*. Gareth Stevens Publishing.

Horton, J. C. et Trobe, J. D. (1999). Akinetopsia from nefazodone toxicity. *American Journal of Ophthalmology*, *128*(4), 530-531. https://doi.org/10.1016/S0002-9394(99)00177-4

Howard, S. (2009). EPPUR SI MUOVE. *Journal of the Washington Academy of Sciences*, *95*(4), 1-11. https://www.academia.edu/download/48561278/Galileo.pdf

Howes, D. (2010). L'esprit multisensoriel, ou la modulation de la perception. *Communications*, *86*(1), 37-46. https://doi.org/10.3917/commu.086.0037

Hsu, J. (2012). *Robotics' Uncanny Valley Gets New Translation*. LiveScience. Récupéré le 19 juillet 2018 de https://www.livescience.com/20909-robotics-uncanny-valley-translation.html

Hubbard, T. L. (2019). Momentum-like effects and the dynamics of perception, cognition, and action. *Attention, Perception, & Psychophysics*, *81*(7), 2155-2170. https://doi.org/10.3758/s13414-019-01770-z

Hubbard, T. L. (2020). Representational gravity: Empirical findings and theoretical implications. *Psychonomic Bulletin & Review*, *27*(1), 36-55. https://doi.org/10.3758/s13423-019-01660-3

Huber, E., Webster, J. M., Brewer, A. A., MacLeod, D. I., Wandell, B. A., Boynton, G. M., Wade, A. R. et Fine, I. (2015). A Lack of Experience-Dependent Plasticity After More Than a Decade of Recovered Sight. *Psychological Science*, *26*(4), 1-12. https://doi.org/10.1177/0956797614563957

Hughes, S. M. et Gallup, G. G. (2003). Sex differences in morphological predictors of sexual behavior: Shoulder to hip and waist to hip ratios. *Evolution and Human Behavior*, *24*(3), 173-178. https://doi.org/10.1016/S1090-5138(02)00149-6

Hume, D. (2008 [1793]). The Natural History of Religion. Dans J. C. A. Gaskin (dir.), *David Hume: Dialogues and Natural History of Religion* (Paperback éd., vol. 4, p. 218). Oxford University Press.

Hunn, E. (1982). The Utilitarian Factor in Folk Biological Classification. *American Anthropologist*, *84*(4), 830-847. https://doi.org/10.1525/aa.1982.84.4.02a00070

Hupé, J.-M. et Rubin, N. (2004). The oblique plaid effect. *Vision Research*, *44*(5), 489-500. https://doi.org/10.1016/j.visres.2003.07.013

Huxley, J. (2003 [1958]). Introduction. Dans *The Origin Of Species: 150th Anniversary Edition* (p. vii-xxiv). Signet Clasics.

Ireland, K. A. et Tenenbaum, D. J. (2008). *Visualizing Human Biology*. John Wiley & Sons.

Iseli, C. et Loertscher, M. L. (2016). Digitized Reality: The Trouble with Motion. (p. 1071-1076). Avanca| Cinema 2016: Proceedings of the International Conference Cinema–Art, Technology, Communication. Avanca, Portugal: Edições Cine-Clube de Avanca, https://bit.ly/3JOHnuz

Jackson, P. (réalis.). (2001). *The Lord of the Rings: The Fellowship of the Ring* [Film]. B. M. Osborne, P. Jackson, F. Walsh et T. Sanders (prod.). New Line Cinema.

Jackson, P. (réalis.). (2002). *The Lord of the Rings: The Two Towers* [Film]. B. M. Osborne, P. Jackson et F. Walsh (prod.). New Line Cinema.

Jackson, P. (réalis.). (2003). *The Lord of the Rings: The Return of the King* [Film]. B. M. Osborne, P. Jackson et F. Walsh (prod.). New Line Cinema.

Jackson, P. (réalis.). (2005). *King Kong* [Film]. B. M. Osborne, P. Jackson et F. Walsh (prod.). Universal Pictures.

Jackson, P. (réalis.). (2012). *The Hobbit: An Unexpected Journey* [Film]. C. Cunningham, Z. Weiner, F. Walsh et P. Jackson (prod.). Warner Bros. Pictures.

Jackson, P. (réalis.). (2013). *The Hobbit: The Desolation of Smaug* [Film]. C. Cunningham, Z. Weiner, F. Walsh et P. Jackson (prod.). Warner Bros. Pictures.

Jackson, P. (réalis.). (2014). *The Hobbit: The Battle of the Five Armies* [Film]. C. Cunningham, Z. Weiner, F. Walsh et P. Jackson (prod.). Warner Bros. Pictures.

Jackson, W. (réalis.). (1937). *The Old Mill* [Film]. W. Disney (prod.). RKO Radio Pictures.

Jacob, P. (1993). Sens commun, psychologie cognitive et philosophie de la psychologie : croyances, matérialisme et externalisme. *L'Année psychologique*, 59-83. https://www.persee.fr/doc/psy_0003-5033_1993_num_93_1_28682

Jahraus, D. (1931). Making Miniatures. *American Cinematographer*, *November*, 9-10. https://bit.ly/3QFd1wJ

Jankovics, M. (réalis.). (1974). *Sisyphus* [Film]. (prod.). Pannónia Filmstúdió. https://youtu.be/QcmJlXeyGxU

Jenkin, M. et Kolers, P. A. (1988). Some Problems with Correspondence. Dans W. N. Martin et J. K. Aggarwal (dir.), *Motion Understanding: Robot and Human Vision* (p. 269-295). Springer US. https://doi.org/10.1007/978-1-4613-1071-6_8.

Jenkins, C. F. (1983 [1920]). History of the Motion Projector. Dans R. Fielding (dir.), *A Technological History of Motion Pictures and Television: an anthology from the pages of the Journal of the Society of Motion Picture and Television Engineers* (Paperback éd., p. 1-8). University of California Press. https://archive.org/details/technologicalhis0000fiel.

Jenkins, C. F. et Herbert, M. (dir.). (1918). *Transactions of the Society of Motion Picture Engineers (1916-1918)* (vol. 1-7). Society of Motion Picture and Television Engineers.

Jensen, A. G. (1967). The Evolution of Modern Television (1954). Dans R. Fielding (dir.), *A Technological History of Motion Pictures and Television: an anthology from the pages of the Journal of the Society of Motion Picture and Television Engineers* (p. 235-249). University of California Press. https://archive.org/details/technologicalhis0000fiel.

Johansson, G. (1973). Visual perception of biological motion and a model for its analysis. *Perception & Psychophysics*, *14*(2), 201-211. https://link.springer.com/content/pdf/10.3758%2FBF03212378.pdf

Johansson, G. (1976). Spatio-Temporal Differentiation and Integration in Visual Motion Perception: An Experimental and Theoretical Analysis of Calculus-Like Functions in Visual Data Processing. *Psychological Research*, *38*(4), 379-393. https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/BF00309043.pdf

Johnson, J. (2014). *Designing with the Mind in Mind: Simple Guide to Understanding User Interface Design Guidelines* (Second éd.). Morgan Kaufmann Publishers: Elsevier.

Johnson, K. L., Gill, S., Reichman, V. et Tassinary, L. G. (2007). Swagger, sway, and sexuality: Judging sexual orientation from body motion and morphology. *Journal of Personality and Social Psychology*, *93*(3), 321-334. https://doi.org/10.1037/0022-3514.93.3.321

Johnson, S. (2011). *Where Good Ideas Come From: The Natural History of Innovation*. Riverhead Books.

Johnson, S., Slaughter, V. et Carey, S. (1998). Whose gaze will infants follow? The elicitation of gaze-following in 12-month-olds. *Developmental Science*, *1*(2), 233-238. https://doi.org/10.1111/1467-7687.00036

Jones, A. et Oliff, J. (2007). *Thinking Animation: Bridging the Gap Between 2D and CG* (Illustrated éd.). Thomson Course Technology.

Jones, A. R. (2000). *Ptolemy*. Dans T. Editors of E. Britannica (dir.), *Encyclopædia Britannica* (Online éd.). Encyclopædia Britannica [Online] : Encyclopædia Britannica, Inc.

Jones, C. M. (1989). *Chuck Amuck: The Life and Times of an Animated Cartoonist*. Avon Books.

Jones, D., Brace, C. L., Jankowiak, W., Laland, K. N., Musselman, L. E., Langlois, J. H., Roggman, L. A., Pérusse, D., Schweder, B. et Symons, D. (1995). Sexual Selection, Physical Attractiveness, and Facial Neoteny: Cross-cultural Evidence and Implications [and Comments and Reply]. *Current Anthropology*, *36*(5), 723-748. http://www.jstor.org/stable/2744016

Jones, G. (2005). Echolocation. *Current Biology*, *15*(13), R484-R488. https://www.cell.com/current-biology/pdf/S0960-9822(05)00686-X.pdf

Joojaa. (2017). *The Concept of Frequency Separation*. Graphic Design. Récupéré le 3 février 2020 de https://graphicdesign.stackexchange.com/questions/86195/the-concept-of-frequency-separation

Jörges, B. et López-Moliner, J. (2017). Gravity as a Strong Prior: Implications for Perception and Action [Review]. *Frontiers in Human Neuroscience*, *11*, 1-16, Article 203. https://doi.org/10.3389/fnhum.2017.00203

Joubert-Laurencin, H. (1997). *La lettre volante: quatre essais sur le cinéma d'animation*. Presses Sorbonne Nouvelle.

Joynson, R. B. (1971). Michotte's Experimental Methods. *British Journal of Psychology*, *62*(3), 293-302. https://doi.org/10.1111/j.2044-8295.1971.tb02040.x

Juricevic, I. et Horvath, A. (2016). Analysis of Motions in Comic Book Cover Art: Using Pictorial Metaphors. *The Comics Grid: Journal of Comics Scholarship [Internet]*, *6*. https://doi.org/10.16995/cg.71

Kageki, N. (2012). *An Uncanny Mind: Masahiro Mori on the Uncanny Valley and Beyond*. IEEE Spectrum. Récupéré le 17 Juillet 2018 de https://spectrum.ieee.org/automaton/robotics/humanoids/an-uncanny-mind-masahiro-mori-on-the-uncanny-valley

Kaiser, M. K., Proffitt, D. R., Whelan, S. M. et Hecht, H. (1992). Influence of Animation on Dynamical Judgments. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *18*(3), 669-689. https://doi.org/10.1037/0096-1523.18.3.669

Kasmire, J., Korhonen, J. M. et Nikolic, I. (2012). How Radical is a Radical Innovation? An Outline for a Computational Approach. *Energy Procedia*, *20*, 346-353. https://doi.org/10.1016/j.egypro.2012.03.034

Kätsyri, J., Förger, K., Mäkäräinen, M. et Takala, T. (2015). A review of empirical evidence on different uncanny valley hypotheses: Support for perceptual mismatch as one road to the valley of eeriness [online]. *Frontiers in Psychology*, *6*(1-16), Article 390. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2015.00390

Kaufman, L. et Rock, I. (1962). The Moon Illusion, I: Explanation of this phenomenon was sought through the use of artificial moons seen on the sky. *Scientific American*, *207*(3520), 953-961. https://doi.org/10.1126/science.136.3520.953

Kawin, B. F. (1992). *How Movies Work*. University of California Press.

Keating, C. F., Randall, D. W., Kendrick, T. et Gutshall, K. A. (2003). Do Babyfaced Adults Receive More Help? The (Cross-Cultural) Case of the Lost Resume. *Journal of Nonverbal Behavior*, *27*(2), 89-109. https://doi.org/10.1023/A:1023962425692

Kelber, A., Vorobyev, M. et Osorio, D. (2003). Animal colour vision–behavioural tests and physiological concepts. *Biological Reviews*, *78*(1), 81-118. https://doi.org/10.1017/S1464793102005985

Kellogg, E. W. (1955). First Installment: History of Sound Motion Pictures. *SMPTE Journal 1955*, *64*(June), 291-302. https://doi.org/10.5594/J04809

Kemp, M. (2006). *Seen Unseen: Art, Science, and Intuition from Leonardo to the Hubble Telescope*. Oxford University Press.

Kemp, M. (2008). Preface. Dans I. A. Richter et T. Wells (dir.), *Leonardo da Vinci: Notebooks*. Oxford University Press.

Kendall, L. N., Raffaelli, Q., Kingstone, A. et Todd, R. M. (2016). Iconic faces are not real faces: enhanced emotion detection and altered neural processing as faces become more iconic. *Cognitive Research: Principles and Implications*, *1*(19), 1-14. https://doi.org/10.1186/s41235-016-0021-8

Kenny, S., Mahmood, N., Honda, C., Black, M. J. et Troje, N. F. (2019). Perceptual Effects of Inconsistency in Human Animations. *ACM Transactions on Applied Perception (TAP)*, *16*(1), 2. https://dl.acm.org/doi/pdf/10.1145/3301411

Knibbe, R. (2022). *Bee eye 1500x* [Photo prise avec un microscope à balayage électronique]. Radio New Zealand (Online), RNZ. https://www.rnz.co.nz/national/programmes/ourchangingworld/galleries/scanning-electron-microscope-images

Knight, A. (1959). *The Liveliest Art: A Panoramic History of the Movies*. Mentor Book: The New American Library of Wold Literature, inc.

Knill, D. C., Kersten, D. et Yuille, A. (1996). Introduction: A Bayesian formulation of visual perception. Dans D. C. Knill et W. Richards (dir.), *Perception as Bayesian Inference* (p. 1-21). Cambridge University Press.

Knoll, A. et Gewaltig, M.-O. (2016). Neurorobotics: A strategic pillar of the Human Brain Project. *Science Robotics*, 25-34. https://bit.ly/3zCL8yg

Kobayashi, H. et Kohshima, S. (2001). Unique morphology of the human eye and its adaptive meaning: comparative studies on external morphology of the primate eye. *Journal of Human Evolution*, *40*(5), 419-435. https://doi.org/10.1006/jhev.2001.0468

Kobiela, D. et Welchman, H. (réalis.). (2017). *Loving Vincent* [Film]. H. Welchman, I. Mactaggart et S. M. Bobbitt (prod.). Altitude Film Distribution.

Kochukhova, O. et Gredebäck, G. (2007). Learning about occlusion: Initial assumptions and rapid adjustments. *Cognition*, *105*(1), 26-46. https://doi.org/10.1016/j.cognition.2006.08.005

Koenderink, J., van Doorn, A., Witzel, C. et Gegenfurtner, K. (2020). Hues of Color Afterimages. *i-Perception*, *11*(1), 1-18. https://doi.org/10.1177/2041669520903553

Kohen, M. (1946). The Venus of Willendorf. *American Imago*, *3*(4), 49-60. http://www.jstor.org/stable/26300876

Kolers, P. A. (1971). Figural change in apparent motion. *Journal of Experimental Psychology*, *87*(1), 99-108.

Kolers, P. A. (2013 [1972]). *Aspects of Motion Perception: International Series of Monographs in Experimental Psychology* (vol. 16). Elsevier.

Kolers, P. A. et Pomerantz, J. R. (1971). Figural change in apparent motion. *Journal of Experimental Psychology*, *87*(1), 99-108. https://doi.org/10.1037/h0030156

Kominsky, J. F., Strickland, B., Wertz, A. E., Elsner, C., Wynn, K. et Keil, F. C. (2017). Categories and Constraints in Causal Perception. *Psychological Science*, *28*(11), 1649-1662. https://doi.org/10.1177/0956797617719930

Konigsberg, I. (1997). *The Complete Film Dictionary* (Second éd.). Penguin Reference.

Konnikova, M. (2013). *Mastermind: How to Think Like Sherlock Holmes*. Penguin Books.

Korte, A. (1915). Kinematoskopische Untersuchungen. *Zeitschrift für Psychologie*, *LXXXII*, 193-321.

Kourtzi, Z. (2004). 'But still, it moves'. *Trends in Cognitive Sciences*, *8*(2), 47-49. https://doi.org/10.1016/j.tics.2003.12.001

Kourtzi, Z. et Kanwisher, N. (2000). Activation in human MT/MST by static images with implied motion. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *12*(1), 48-55. https://doi.org/10.1162/08989290051137594

Kourtzi, Z., Krekelberg, B. et Van Wezel, R. J. (2008). Linking form and motion in the primate brain. *Trends in Cognitive Sciences*, *12*(6), 230-236. https://doi.org/10.1016/j.tics.2008.02.013

Kozlowski, L. T. et Cutting, J. E. (1978). Recognizing the gender of walkers from point-lights mounted on ankles: some second thoughts. *Perception & Psychophysics*, *23*(5), 459. https://link.springer.com/content/pdf/10.3758/BF03204150.pdf

Kricfalusi, J. (1991-1995). [Série télévisée]. *The Ren & Stimpy Show*. MTV Networks.

Kubricht, J. R., Holyoak, K. J. et Lu, H. (2017). Intuitive physics: Current research and controversies. *Trends in Cognitive Sciences*, *21*(10), 749-759. https://doi.org/10.1016/j.tics.2017.06.002

Kubrick, S. (réalis.). (1971). *A Clockwork Orange* [Film]. S. Kubrick (prod.). Hawk Films Limited.

Kuffler, S. W. (1953). Discharge patterns and functional organization of mammalian retina. *Journal of Neurophysiology*, *16*(1), 37-68. https://doi.org/10.1152/jn.1953.16.1.37

LaBar, K. S. et Cabeza, R. (2006). Cognitive neuroscience of emotional memory. *Nature Reviews Neuroscience*, *7*(1), 54-64. https://doi.org/10.1038/nrn1825

Labbie, E. F. (2012). The Sorcerer's Apprentice: Animation and Alchemy in Disney's Medievalism. Dans T. Pugh et S. Aronstein (dir.), *The Disney Middle Ages: A Fairy-Tale and Fantasy Past* (p. 97-113). Palgrave Macmillan US. https://doi.org/10.1057/9781137066923_6.

Labrecque, J. (2 mai 2012). 'The Hobbit': Douglas Trumbull on the 48 frames debate. *Entertainment (online)*. https://ew.com/article/2012/05/02/douglas-trumbull-hobbit-frame-speed/

Lafrance, R. et Parent, J. (2014). *Physique 1 : Mécanique* (vol. 1). Chenelière éducation.

Laja Uggah, L. et Manaf, A. A. (2015). Overcoming the Uncanny Valley Theory in Digital Characters Based on Human Attitudes. *Pertanika Journal of Social Sciences & Humanities*, *23*, 13-22. https://ir.unimas.my/id/eprint/9926/1/AzainiJournalKSIDVol7No2.pdf

Lakoff, G. et Johnson, M. (1980). The Metaphorical Structure of the Human Conceptual System. *Cognitive Science*, *4*(2), 195-208. https://doi.org/10.1016/S0364-0213(80)80017-6

Lakoff, G. et Johnson, M. (1999). *Philosophy in the Flesh: The Embodied Mind and its Challenge to Western Thought* (vol. 640). Basic books New York. https://ia601209.us.archive.org/3/items/PhilosophyInTheFlesh/Philosophy_In_The_Flesh.pdf

Lamarre, T. (2011). Speciesism, Part III: Neoteny and the politics of life. Dans F. Lunning (dir.), *Mechademia: User Enhanced* (vol. 6, p. 110-136). University of Minnesota Press.

Lamb, T. (2016). Why rods and cones? *Eye (London, England)*, *30*(2), 179-185. https://doi.org/10.1038/eye.2015.236

Lambart, E. (réalis.). (1968). *Fine Feathers* [Film]. (prod.). Office national du film du Canada. https://www.nfb.ca/film/fine_feathers/

Landwehr, J. R., McGill, A. L. et Herrmann, A. (2011). It's Got the Look: The Effect of Friendly and Aggressive "Facial" Expressions on Product Liking and Sales. *Journal of Marketing*, *75*(3), 132-146. https://doi.org/10.1509/jmkg.75.3.132

Langdale, A. (2002). S(t)imulation of Mind: The Film Theory of Hugo Münsterberg. Dans A. Langdale (dir.), *Hugo Münsterberg on Film The Photoplay: A Psychological Study and Other Writings* (p. 1-41). Routledge.

Lassek, W. D. et Gaulin, S. J. C. (2016). What Makes Jessica Rabbit Sexy? Contrasting Roles of Waist and Hip Size. *Evolutionary Psychology*, *14*(2), 1-16. https://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1177/1474704916643459

Lasseter, J. (1987). Principles of traditional animation applied to 3D computer animation. (p. 35-44). ACM Siggraph Computer Graphics, ACM. https://doi.org/10.1145/37401.37407

Lasseter, J. (réalis.). (1995). *Toy Story* [Film]. B. Arnold et R. Guggenheim (prod.). Buena Vista Pictures.

Lasseter, J. (réalis.). (2006). *Cars* [Film]. D. K. Anderson (prod.). Buena Vista Pictures Distribution.

Latsis, D. (2015). Landscape in Motion: Muybridge and the Origins of Chronophotography. *Film History: An International Journal*, *27*, 1-40. https://doi.org/10.2979/FILMHISTORY.27.3.1

Lazzouni, L. et Lepore, F. (2014). Compensatory plasticity: time matters [Review]. *Frontiers in Human Neuroscience*, *8*, 1-11, Article 340. https://doi.org/10.3389/fnhum.2014.00340

Leaman, D. (1999). The nature of jointing, Tasman Peninsula, southern Tasmania. (p. 65-76). Papers and Proceedings of the Royal Society of Tasmania, https://eprints.utas.edu.au/13611/4/1999_Leaman_The_Nature_rst.pdf

Leblanc, R. (2019). Against the Current: Wilder Penfield, the Frontal Lobes and Psychosurgery. *Canadian Journal of Neurological Sciences / Journal Canadien des Sciences Neurologiques*, *46*(5), 585-590. https://doi.org/10.1017/cjn.2019.48

Leclant, J. (1991). Aux sources de l'égyptologie européenne: Champollion, Young, Rosellini, Lepsius. *Comptes rendus des séances de l'Académie des Inscriptions et Belles-Lettres*, *135*(4), 743-762. https://www.persee.fr/doc/crai_0065-0536_1991_num_135_4_15043

Lesher, J. H. (1992). *Xenophanes of Colophon: fragments: a text and translation with a commentary* (vol. 4). University of Toronto Press.

Leterrier, L. (réalis.). (2008). *The Incredible Hulk* [Film]. A. Arad, G. A. Hurd et K. Feige (prod.). Universal Pictures.

Lévi-Strauss, C. (1962). *La pensée sauvage*. Librairie Plon. https://archive.org/details/lapenseesauvage00levi

Lévi-Strauss, C. (2002 [1962]). *Le totémisme aujourd'hui*. Presses Universitaires de France. https://doi.org/10.3917/puf.strau.2002.01

Levitan, I. I. (1889). *The Birch Grove* [Peinture à l'huile sur toile]. https://www.wikiart.org/en/isaac-levitan/birch-grove-1889

Lieury, A. (2015). *35 grandes notions de psychologie cognitive*. Dunod.

Lightfoot, N. (2002). *Principles of Physical Animation*. Récupéré le 5 novembre 2019 de http://frankanollie.com/PhysicalAnimation.html

Lind, R. E. (2015 [2007]). *The Seat Of Consciousness In Ancient Literature* (EBook éd.). McFarland.

Lindsay, V. (2010 [1922]). *The Art of the Moving Picture* (Second éd.). Random House.

Linklater, R. (réalis.). (2006). *A Scanner Darkly* [Film]. T. Pallotta, A. Walker-McBay, P. West, J. Smith et E. Stoff (prod.). Warner Independent Pictures.

Linnett, J. B. (1868, 18 mars 1868). *Illustration of the Kineograph in Linett's 1868 patent* [Illustration of the Kineograph (Fig. III) in John Barnes Linett's 1868 Letters Patent No. 1925 for "Improvements in Producing Optical Illusions" (dated 1818 March 1868)]. Letters Patent No. 925, Letters Patent No. 925.

Lipton, L. (2021a). A Persistent Myth. Dans *The Cinema in Flux: The Evolution of Motion Picture Technology from the Magic Lantern to the Digital Era* (eBook éd., p. 51-53). Springer.

Lipton, L. (2021b). Plateau Invents the Phenakistoscope. Dans *The Cinema in Flux: The Evolution of Motion Picture Technology from the Magic Lantern to the Digital Era* (eBook éd., p. 43-50). Springer.

Lisney, T. J., Rubene, D., Rózsa, J., Løvlie, H., Håstad, O. et Ödeen, A. (2011). Behavioural assessment of flicker fusion frequency in chicken Gallus gallus domesticus. *Vision Research*, *51*(12), 1324-1332. https://doi.org/10.1016/j.visres.2011.04.009

Livingstone, M. (2014 [2002]). *Vision and Art: The Biology of Seeing* (Revised and expanded edition éd.). Abrams.

Livingstone, M. et Hubel, D. (1988). Segregation of form, color, movement, and depth: anatomy, physiology, and perception. *Science*, *240*(4853), 740-749. http://www.jstor.org/stable/1701543

Looser, C. E. et Wheatley, T. (2010). The tipping point of animacy: How, when, and where we perceive life in a face. *Psychological Science*, *21*(12), 1854-1862. https://doi.org/10.1177/0956797610388044

Lu, Z.-L. et Sperling, G. (2001). Three-systems theory of human visual motion perception: review and update. *Journal of the Optical Society of America A*, *18*(9), 2331-2370. https://doi.org/10.1364/JOSAA.18.002331

Lucas, G. et Silver, C. (2008-2012). Dans D. Filoni, *Star Wars: The Clone Wars*. Warner Bros. Television Distribution.

Luigi, G. (1982). *Jacques Couëlle: parenthèse architecturale* (vol. 18). Editions Pierre Mardaga.

Lumière, L. (réalis.). (1895). *L'Arroseur arrosé* [Film]. L. Lumière (prod.). Société Lumière.

Lumière, L. (réalis.). (1896). *L'Arrivée d'un train en gare de La Ciotat* [Film]. S. Lumière (prod.). Société Lumière.

Lumière, L. (1936). Stereoscopy on the Screen. *Journal of the Society of Motion Picture Engineers*, *27*(3), 315-320. https://doi.org/10.5594/J01274

Lutz, E. G. (1998 [1920]). *Animated Cartoons: How They are Made, Their Origin and Development*. Charles Scribner's Sons Reprinted by Applewood Books.

Luyat, M. et Regia-Corte, T. (2009). Les affordances : de James Jerome Gibson aux formalisations récentes du concept. *L'Année psychologique*, *109*(2), 297-332. https://doi.org/10.4074/s000350330900205x

MacDorman, K. F. et Chattopadhyay, D. (2016). Reducing consistency in human realism increases the uncanny valley effect; increasing category uncertainty does not. *Cognition*, *146*, 190-205. https://doi.org/10.1016/j.cognition.2015.09.019

MacDorman, K. F., Green, R. D., Ho, C.-C. et Koch, C. T. (2009). Too real for comfort? Uncanny responses to computer generated faces. *Computers in Human Behavior*, *25*(3), 695-710. https://doi.org/10.1016/j.chb.2008.12.026

MacFarlane, S. (1999-2022). (Saison 1-20. *Family Guy*. 20th Century Fox.

MacGowan, K. (1954). The Coming of Camera and Projector: Part I. *The Quarterly of Film Radio and Television*, *9*(1), 1-14. https://www.jstor.org/stable/1209886

Mack, A. et Rock, I. (1998). *Inattentional Blindness*. The MIT Press. https://doi.org/10.7551/mitpress/3707.001.0001

Macknik, S., Martinez-Conde, S. et Blakeslee, S. (2010). *Sleights of Mind: What the Neuroscience of Magic Reveals about Our Everyday Deceptions* (1 éd.). Picador: Henry Holt and Company.

MacLeod, D. I. et Hayhoe, M. (1974). Rod origin of prolonged afterimages. *Science*, *185*(4157), 1171-1172. http://pages.ucsd.edu/~dmacleod/publications/10MacLeodHayhoe1974.pdf

Maddocks, S. A., Goldsmith, A. R. et Cuthill, I. C. (2001). The Influence of Flicker Rate on Plasma Corticosterone Levels of European Starlings, *Sturnus vulgaris*. *General and Comparative Endocrinology*, *124*(3), 315-320. https://doi.org/10.1006/gcen.2001.7718

Madej, K. et Lee, N. (2020). *Disney Stories* (eBook éd.). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-42738-2

Madsen, M. W. (2016). Cognitive Metaphor Theory and the Metaphysics of Immediacy. *Cognitive Science*, *40*(4), 881-908. https://doi.org/10.1111/cogs.12320

Mandler, J. M., Bauer, P. J. et McDonough, L. (1991). Separating the sheep from the goats: Differentiating global categories. *Cognitive Psychology*, *23*(2), 263-298. https://doi.org/10.1016/0010-0285(91)90011-C

Mandler, J. M. et McDonough, L. (1998). On Developing a Knowledge Base in Infancy. *Developmental Psychology*, *34*(6), 1274-1288. https://doi.org/10.1037/0012-1649.34.6.1274

Mandolini, C. (1994). 13e Festival du dessin animé et du film d'animation de Bruxelles. *Séquences: la revue de cinéma*, *172*(mai-juin), 10-11. https://id.erudit.org/iderudit/49854ac

Manetti, A. (1985). Vie, fortune et œuvre de Fillippo Brunelleschi - Vie de Brunelleschi d'Antonoi Manetti (C. Lauriol, trad.). Dans É. n. s. d. Beaux-Arts (dir.), *Filippo Brunelleschi (1377-1446) - Sa vie, son œuvre par Antonio Manetti et Giorgio Vasari* (3e éd., p. 57-149). École nationale supérieure des Beaux-Arts.

Mannoni, L. (2017). Les appareils cinématographiques Lumière. *1895. Mille huit cent quatre-vingt-quinze [En ligne]*(2), 52-85. https://doi.org/10.4000/1895.5368

Marbe, K. (1910). *Theorie der kinematographischen Projektionen*. Johann Ambrosius Barth. https://archive.org/details/theoriederkinem00marbgoog

Marey, É.-J. (1882). Le fusil photographique. *La nature: revue des sciences et de leurs applications aux arts et à l'industrie*, *464*(15 avril), 326-330. https://www.biusante.parisdescartes.fr/histmed/medica/cote?marey004

Marey, É.-J. (1886, 2 janvier 1886). *Cheval blanc monté, 1886, locomotion du cheval, expérience 4* [Chronophotographie sur plaque fixe, négatif]. Wikimedia Commons. https://bit.ly/3QFQ7VN

Marey, É.-J. (1890-1891). *Man walking* [Chronophotographie]. Wikimedia Commons. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Marey-_Man_walking,_1890%E2%80%9391.jpg

Marey, É.-J. (1899). *La chronophotographie*. Gauthier-Villars.

Marey, É.-J. (c. 1883). *Gull in Flight* [Albumen print].

Marques, A., Beze, S., Pereira, B., Chassain, C., Monneyron, N., Delaby, L., Lambert, C., Fontaine, M., Derost, P. et Debilly, B. (2020). Visual hallucinations and illusions in Parkinson's disease: the role of ocular pathology. *Journal of Neurology*, 1-13. https://doi.org/10.1007/s00415-020-09925-x

Marr, D. (2010 [1982]). *Vision: A Computational Investigation Into the Human Representation and Processing of Visual Information*. MIT Press.

Martinez-Conde, S., Macknik, S. L. et Hubel, D. H. (2004). The role of fixational eye movements in visual perception. *Nature Reviews Neuroscience*, *5*(3), 229. https://doi.org/10.1038/nrn1348

Martinez-Conde, S., Macknik, S. L., Troncoso, X. G. et Dyar, T. A. (2006). Microsaccades Counteract Visual Fading during Fixation. *Neuron*, *49*(2), 297-305. https://doi.org/10.1016/j.neuron.2005.11.033

Masland, R. H. (1969). Visual motion perception: Experimental modification. *Science*, *165*(3895), 819-821. https://doi.org/10.1126/science.165.3895.819

Masland, R. H. (2001). Neuronal diversity in the retina. *Current Opinion in Neurobiology*, *11*(4), 431-436. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959438800002300

Masland, R. H. (2012a). The Neuronal Organization of the Retina. *Neuron*, *76*(2), 266-280. https://doi.org/10.1016/j.neuron.2012.10.002

Masland, R. H. (2012b). The tasks of amacrine cells. *Visual Neuroscience*, *29*(1), 3-9. https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3652807/

Masland, R. H. (2017). Vision: two Speeds in the Retina. *Current Biology*, *27*(8), R303-R305. https://doi.org/10.1016/j.cub.2017.02.056

Masland, R. H. (2020). *We Know It When We See It: What the Neurobiology of Vision Tells Us About How We Think* (eBook éd.). Basic Books.

Massuet, J.-B. (2016). Débats animés sur l'animation La querelle Donald Crafton/Alan Cholodenko. *Mise au point. Cahiers de l'association française des enseignants et chercheurs en cinéma et audiovisuel*(8), 13. https://doi.org/10.4000/map.2105

Mast, G. et Kawin, B. F. (2003). *A Short History of the Movies* (Eighth éd.). Longman.

Mast, G. et Kawin, B. F. (2006). *A Short History of the Movies* (Ninth éd.). Longman.

Mather, G. (2014). *The Psychology of Visual Art: Eye, Brain and Art* (Reprint éd.). Cambridge University Press.

Mather, G. et Murdoch, L. (1994). Gender Discrimination in Biological Motion Displays Based on Dynamic Cues. *Proceedings: Biological Sciences*, *258*(1353), 273-279. http://www.jstor.org/stable/50091

Mather, G., Pavan, A., Campana, G. et Casco, C. (2008). The motion aftereffect reloaded. *Trends in Cognitive Sciences*, *12*(12), 481-487. https://doi.org/10.1016/j.tics.2008.09.002

Mattesi, M. D. (2006). *Force: Dynamic life drawing for animators*. Focal Press.

May, J. (2020). Ambiguity in Psychology. Dans S. Popat et S. Whatley (dir.), *Error, Ambiguity, and Creativity: A Multidisciplinary Reader* (p. 43-62). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-39755-5_4.

McCay, W. (réalis.). (1911). *Little Nemo* [Film]. (prod.).

McCay, W. (réalis.). (1912). *How a Mosquito Operates* [Film]. (prod.).

McCay, W. (réalis.). (1914). *Gertie the Dinosaur* [Film]. (prod.).

McCloskey, M. (1983a). Intuitive Physics. *Scientific American*, *248*(4), 122-131. https://www.jstor.org/stable/10.2307/24968881

McCloskey, M. (1983b). Naive Theories of Motion. Dans D. Gentner et A. L. Stevens (dir.), *Mental models* (p. 299-324). Psychology Press. https://files.eric.ed.gov/fulltext/ED223417.pdf.

McCloskey, M., Caramazza, A. et Green, B. (1980). Curvilinear motion in the absence of external forces: Naive beliefs about the motion of objects. *Science*, *210*(4474), 1139-1141. https://doi.org/10.1126/science.210.4474.1139

McCloskey, M., Washburn, A. et Felch, L. (1983). Intuitive physics: The straight-down belief and its origin. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *9*(4), 636. https://doi.org/10.1037/0278-7393.9.4.636

McCloud, S. (1994). *Understanding Comics: The Invisible Art* (1 éd.). HarperPerennial.

McDonald, K. (2016). *Film theory: The Basics*. Routledge.
McGilchrist, I. (2019). *The Master and His Emissary: The Divided Brain and the Making of the Western World* (Paperback éd.). Yale University Press.

McKim, J. K. (2013). *The Ultimate Guide To The Frequency Separation Technique*. Récupéré le 3 février 2020 de https://fstoppers.com/post-production/ultimate-guide-frequency-separation-technique-8699

McKone, E., Crookes, K., Jeffery, L. et Dilks, D. D. (2012). A critical review of the development of face recognition: Experience is less important than previously believed. *Cognitive Neuropsychology*, *29*(1-2), 174-212. http://web.mit.edu/bcs/nklab/media/pdfs/McKone_etal_inpress.pdf

McLaren, I. P., Wood, K. et McLaren, R. (2013). Naïve Physics-the wrong theory? *Cognitive Science Society*. http://hdl.handle.net/10871/18054

McLaren, N. (réalis.). (1942). *Hen Hop* [Film]. N. McLaren (prod.). National Film Board of Canada. https://www.nfb.ca/film/hen_hop/

McLaren, N. (réalis.). (1952). *Neighbours (Voisins)* [Film]. N. McLaren (prod.). Office national du film du Canada. https://www.onf.ca/film/neighbours_voisins/

McLaren, N. (réalis.). (1968). *Pas de deux* [Film]. N. McLaren (prod.). Office national du film du Canada. https://www.nfb.ca/film/pas_de_deux_en/

McLaren, N. et Jutra, C. (réalis.). (1957). *Il était une chaise* [Film]. (prod.). Office national du film du Canada. https://www.onf.ca/film/il-etait-une-chaise/

McLaren, N. et Lambart, E. (réalis.). (1949). *Begone Dull Care* [Film]. N. McLaren (prod.). Office national du film du Canada. https://www.nfb.ca/film/begone_dull_care/

McLaren, N. et Munro, G. (réalis.). (1976a). *Le Mouvement image par image - 1re partie* [Film]. N. M. McLaren, Grant (prod.). Office national du film du Canada. https://www.nfb.ca/film/mouvement_image_par_image_1/

McLaren, N. et Munro, G. (réalis.). (1976b). *Le Mouvement image par image - 2e partie* [Film]. N. M. McLaren, Grant (prod.). Office national du film du Canada. https://www.nfb.ca/film/mouvement_image_par_image_2/

McLaren, N. et Munro, G. (réalis.). (1976c). *Le Mouvement image par image - 3e partie* [Film]. N. M. McLaren, Grant (prod.). Office national du film du Canada. https://www.nfb.ca/film/mouvement_image_par_image_3/

McLaren, N. et Munro, G. (réalis.). (1976-1978). *Le Mouvement image par image* [Film]. N. M. McLaren, Grant (prod.). Office national du film du Canada. https://www.nfb.ca/film/mouvement_image_par_image_1/

McLaren, N. et Munro, G. (réalis.). (1977). *Le Mouvement image par image - 4e partie* [Film]. N. M. McLaren, Grant (prod.). Office national du film du Canada. https://www.nfb.ca/film/mouvement_image_par_image_4/

McLaren, N. et Munro, G. (réalis.). (1978). *Le Mouvement image par image - 5e partie* [Film]. N. M. McLaren, Grant (prod.). Office national du film du Canada. https://www.nfb.ca/film/mouvement_image_par_image_5/

Meltzoff, A. N. (2007). The 'like me' framework for recognizing and becoming an intentional agent. *Acta Psychologica*, *124*(1), 26-43. https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2006.09.005

Merritt, R. et Kaufman, J. (2000). *Walt in Wonderland: The Silent Films of Walt Disney*. Johns Hopkins University Press.

Messmer, O. (réalis.). (1919). *Feline Follies* [Film]. P. Sullivan (prod.). Paramount Pictures.

Metz, C. (2013 [1968]). *Essais sur la signification au cinéma*. Klincksieck. https://doi.org/10.14375/NP.9782252039045

Michelle, C., Davis, C. H., Hight, C. et Hardy, A. L. (2017). The Hobbit hyperreality paradox: Polarization among audiences for a 3D high frame rate film. *Convergence*, *23*(3), 1-22. https://doi.org/10.1177/1354856515584880

Michotte, A. (1946). *La perception de la causalité* (vol. VI). Institut supérieur de Philosophie, Université de Louvain. https://archive.org/details/in.ernet.dli.2015.377273

Michotte, A. (2017 [1963]). *The Perception of Causality (La Perception de la Causalité)* (Kindle éd., vol. 21; T. R. Miles et E. Miles, trad.). Taylor and Francis.

Miller, F., Rodriguez, R. et Tarantino, Q. (réalis.). (2005). *Sin City* [Film]. E. Avellá, F. MIller et R. Rodriguez (prod.). Miramax Films.

Milner, D. et Goodale, M. A. (2006). *The Visual Brain in Action*. Oxford University Press. https://pdfs.semanticscholar.org/a1f7/9785613a4f80a7863c36e963003bde815695.pdf

Misselhorn, C. (2009). Empathy with Inanimate Objects and the Uncanny Valley. *Minds and Machines*, *19*(3), 345. https://doi.org/10.1007/s11023-009-9158-2

Mitchell, W. J., Szerszen Sr, K. A., Lu, A. S., Schermerhorn, P. W., Scheutz, M. et MacDorman, K. F. (2011). A Mismatch in the Human Realism of Face and Voice Produces an Uncanny Valley. *i-Perception*, *2*(1), 10-12. https://doi.org/10.1068/i0415

Mitenbuler, R. (2020). *Wild Minds: The Artists and Rivalries That Inspired the Golden Age of Animation*. Atlantic Monthly Press.

Miyamoto, Y., Uchida, Y. et Ellsworth, P. C. (2010). Culture and mixed emotions: Co-occurrence of positive and negative emotions in Japan and the United States. *Emotion*, *10*(3), 404–415. https://doi.org/10.1037/a0018430

Miyazaki, G. (réalis.). (2006). *Les Contes de Terremer (Gedo Senki)* [Film]. T. Suzuki et T. Ishii (prod.). Toho.

Monaco, J. (1981 [1977]). *How to Read a Film: The Art, Technology, Language, History, and Theory of Film and Media*. New York: Oxford University Press.

Monsell, S. (2003). Task switching. *Trends in Cognitive Sciences*, *7*(3), 134-140. https://doi.org/10.1016/S1364-6613(03)00028-7

Montgomery, L. (2012). *Tradigital Maya: A CG Animator's Guide to Applying the Classical Principles of Animation*. Focal Press.

Moor, J. (2006). The Dartmouth College Artificial Intelligence Conference: The Next Fifty Years. *Ai Magazine*, *27*(4), 87-91. https://ojs.aaai.org/index.php/aimagazine/article/view/1911/1809

Morewedge, C. K., Preston, J. et Wegner, D. M. (2007). Timescale Bias in the Attribution of Mind. *Journal of Personality and Social Psychology*, *93*(1), 1-11. https://doi.org/10.1037/0022-3514.93.1.1

Morgan, P. (2011, 18 juillet 2018). Most Realistic Android Yet: Have We Passed the Bottom of the Uncanny Valley? https://bit.ly/3PA5hLH

Mori, M. (1970). The uncanny valley (en japonais). *Energy*, *7*(4), 33-35.

Mori, M. (2012 [1970]-a). La vallée de l'étrange. *Gradhiva. Revue d'anthropologie et d'histoire des arts*(15), 26-33. https://doi.org/10.4000/gradhiva.2311

Mori, M. (2012 [1970]-b). The Uncanny Valley [from the field]. *IEEE Robotics & Automation Magazine*, *19*(2), 98-100. https://doi.org/10.1109/MRA.2012.2192811

Morris, M. W. et Peng, K. (1994). Culture and cause: American and Chinese attributions for social and physical events. *Journal of Personality and Social Psychology*, *67*(6), 949. https://culcog.berkeley.edu/Publications/1994JPSP_MorrisPeng.pdf

Morton, D. (2017). *Panel to the Screen: Style, American Film, and Comic Books During the Blockbuster Era* (Kindle éd.). University Press of Mississippi.

Mosier, S. et Cheney, Y. (réalis.). (2018). *The Grinch* [Film]. C. Meledandri et J. Healy (prod.). Universal Pictures.

Moulinsard, E. (2022). *La peinture hollandaise au XVIIe siècle*. HpT Media. Récupéré le 22 avril 2022 de https://www.histoire-pour-tous.fr/arts/2678-la-peinture-de-genre-hollandaise-au-xviieme-siecle.html

Mountcastle, V. B., Lynch, J. C., Georgopoulos, A., Sakata, H. et Acuna, C. (1975). Posterior parietal association cortex of the monkey: command functions for operations within extrapersonal space. *Journal of Neurophysiology*, *38*(4), 871-908. https://doi.org/10.1152/jn.1975.38.4.871

Moutoussis, K. et Zeki, S. (1997). A direct demonstration of perceptual asynchrony in vision. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, *264*(1380), 393-399. https://doi.org/10.1098/rspb.1997.0056

Mullins, J. (2015). *Disney Princesses Have Eyes Literally Bigger Than Their Stomachs and Here Are the Photos to Prove It*. E! Entertainment Television. Récupéré le 23 avril 2022 de https://www.eonline.com/ca/news/670187/disney-princesses-have-eyes-literally-bigger-than-their-stomachs-and-here-are-the-photos-to-prove-it

Munday, R. (2014). *Lectures: Visual Perception 8 - The Moving Image*. Récupéré le 24 janvier 2018 de http://visual-memory.co.uk/daniel/Modules/FM21820/visper08.html

Münsterberg, H. (1916). *The Photoplay: A Psychological Study*. D. Appleton and Company.

Münsterberg, H. (2002 [1915]). Why We Go to the Movies. Dans A. Langdale (dir.), *Hugo Münsterberg on Film The Photoplay: A Psychological Study and Other Writings* (p. 171-190). Routledge.

Münsterberg, H. (2002 [1916]). The Photoplay: A Psychological Study. Dans A. Langdale (dir.), *Hugo Münsterberg on Film The Photoplay: A Psychological Study and Other Writings* (p. 43-162). Routledge.

Murav'eva, S., Deshkovich, A. et Shelepin, Y. E. (2009). The Human Magno and Parvo Systems and Selective Impairments of Their Functions. *Neuroscience and Behavioral Physiology*, *39*(6), 535-543. https://doi.org/10.1007/s11055-009-9161-3

Murphy, M. S., Brooks, D. I. et Cook, R. G. (2015). Pigeons Use High Spatial Frequencies When Memorizing Pictures. *Journal of Experimental Psychology: Animal Learning and Cognition*, *41*(3), 277-285. https://doi.org/10.1037/xan0000055

Muybridge, E. (1878, 19 juin 1878). *Sallie Gardner au galop* [Série de photographies / court-métrage]. http://hdl.loc.gov/loc.pnp/cph.3a45870

Nathan, D. L. et Crafton, D. (2013). The Making and Re-making of Winsor McCay's Gertie (1914). *Animation*, *8*(1), 23-46. https://doi.org/10.1177/1746847712467569

Neisser, U. (1979). The Control of information Pickup in Selective Looking. Dans A. D. Pick (dir.), *Perception and Development: A Tribute to Eleanor J. Gibson* (p. 201-219). Lawrence Erlbaum Associates, Publishers.

Neisser, U. (1981). Obituary: James J. Gibson (1904-1979). http://www.yorku.ca/rsheese2/1010/jgibson.pdf

Neisser, U. (2014 [1967]). *Cognitive Psychology: Classic Edition*. Psychology Press: Taylor & Francis Group.

Neisser, U. et Becklen, R. (1975). Selective looking: Attending to visually specified events. *Cognitive Psychology*, *7*(4), 480-494. https://doi.org/10.1016/0010-0285(75)90019-5

Neri, P., Morrone, M. C. et Burr, D. C. (1998). Seeing biological motion. *Nature*, *395*(6705), 894-896. https://doi.org/10.1038/27661

Netzley, P. D. (2001). *Encyclopedia of Movie Special Effects*. Checkmark Books.

Newman, E. A. et Hartline, P. H. (1982). The Infrared "Vision" of Snakes. *Scientific American*, *246*(3), 116-127. http://www.jstor.org/stable/24966551

Newton, I. (2016 [1730]). *Opticks or a Treatise of the Reflections, Refractions, and Colours of Light* (Fourth Edition, corrected [Kindle] éd.). anboco.

Newton, I. (2016 [1999, 1726]). *The Principia: The Authoritative Translation: Mathematical Principles of Natural Philosophy* (I. B. Cohen, A. Whitman et J. Budenz, trad.). University of California Press.

Nichols, B. et Lederman, S. J. (1980). Flicker and Motion in Film. Dans T. De Lauretis et S. Heath (dir.), *The Cinematic Apparatus* (eBook éd., p. 96-105). Palgrave Macmillan Press. https://doi.org/10.1007/978-1-349-16401-1.

Nicolaides, K. (1941). *The Natural Way to Draw: A Working Plan for Art Study*. Houghton Mifflin Company.

Nisbett, R. E., Peng, K., Choi, I. et Norenzayan, A. (2001). Culture and systems of thought: holistic versus analytic cognition. *Psychological Review*, *108*(2), 291-310. https://doi.org/10.1037/0033-295X.108.2.291

Nishimura, M., Scherf, S. et Behrmann, M. (2009). Development of object recognition in humans. *F1000 biology reports*, *1*. https://doi.org/10.3410/B1-56

Nolan, C. (réalis.). (2010). *Inception* [Film]. E. Thomas et C. Nolan (prod.). Warner Bros. Pictures.

Norton, J. W. et Corbett, J. J. (2000). Visual Perceptual Abnormalities: Hallucinations and Illusions. (p. 0111-0122). Seminars in Neurology, Thieme Medical Publishers, Inc.

Nugier, A. (2009). Histoire et grands courants de recherche sur les émotions. *Revue électronique de psychologie sociale*, *4*(4), 8-14. http://www.lsv.fr/~finkel/papiers-mescours/EMOTION/emotions-RePS4.Nugier.pdf

O'Toole, G. (2016, 5 mars 2016). *If the Human Brain Were So Simple That We Could Understand It, We Would Be So Simple That We Couldn't*. Quote Investigator. Récupéré le 16 novembre 2021 de https://quoteinvestigator.com/2016/03/05/brain/

O'Toole, G. (2017, 15 août 2017). *Tell 'Em What You're Going To Tell 'Em; Next, Tell 'Em; Next, Tell 'Em What You Told 'Em*. Quote Investigator. Récupéré le 25 mai 2022 de https://quoteinvestigator.com/2017/08/15/tell-em/

Oberauer, K. (2003). Selective Attention to Elements in Working Memory. *Experimental Psychology*, *50*(4), 257-269. https://doi.org/10.1027//1618-3169.50.4.257

Okasha, S. (2016). *Philosophy of Science: Very Short Introduction* (Second éd.). Oxford University Press.

Opfer, J. E. et Gelman, S. A. (2011). Development of the Animate–Inanimate Distinction. Dans U. Goswami (dir.), *The Wiley-Blackwell handbook of childhood cognitive development* (Second éd., p. 213-238). Blackwell Publishers Ltd.

Otero-Millan, J., Macknik, S., Robbins, A. et Martinez-Conde, S. (2011). Stronger misdirection in curved than in straight motion [Original Research]. *Frontiers in Human Neuroscience*, *5*(133), 1-4. https://doi.org/10.3389/fnhum.2011.00133

Otte, M., Noiret, P., Plumet, P. et Vialou, D. (2009). *La préhistoire* (3e éd.). De Boeck Supérieur.

Owen, A. (2011). *Neuroanimatics: Hyperrealism and digital animation's accidental mark* (vol. 1, pp. 315-345) : Animation Practice, Process & Production.

Pack, C. C., Livingstone, M. S., Duffy, K. R. et Born, R. T. (2003). End-Stopping and the Aperture Problem: Two-Dimensional Motion Signals in Macaque V1. *Neuron*, *39*(4), 671-680. https://doi.org/10.1016/S0896-6273(03)00439-2

Pallis, C. (1955). Impaired Identification of Faces and Places with Agnosia for colours: Report of a Case Due to Cerebral Embolism. *Journal of Neurology, Neurosurgery, and Psychiatry*, *18*(3), 218-224. https://doi.org/10.1136/jnnp.18.3.218

Palmer, C. J. et Clifford, C. W. (2020). Face pareidolia recruits mechanisms for detecting human social attention. *Psychological Science*, *31*(8), 1001-1012. https://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1177/0956797620924814

Palmer, R. (1984). Trumbull's "Showscan" is a hit—sort of. *Cinefantastique*, *September*(4-5), 108.

Palmer, S. E. et Fayard, A.-L. (1999). Les théories contemporaines de la perception de Gestalt. *Intellectica. Revue de l'Association pour la Recherche Cognitive*, *28*(1), 53-91. https://www.persee.fr/doc/intel_0769-4113_1999_num_28_1_1773

Papacosta, P. (2018). Muybridge, the Galloping Horse and revealed Errors in Art. *International Journal of Art and Art History*, *6*(1), 15-26. https://pdfs.semanticscholar.org/7230/d8967e02710319ba11b9dc4bf5fb2635f288.pdf

Papathomas, T. V., Rosenthal, A. S. et Julesz, B. (2002). Neural Models of Motion Perception. Dans G. K. Hung et K. J. Ciuffreda (dir.), *Models of the Visual System* (p. 487-519). Springer US. https://doi.org/10.1007/978-1-4757-5865-8_13.

Park, N. (réalis.). (1993). *The Wrong Trousers* [Film]. C. Moll (prod.). BBC Enterprises.

Park, W. J. et Tadin, D. (2018). Motion Perception. Dans J. T. Serences (dir.), *Stevens' Handbook of Experimental Psychology and Cognitive Neuroscience* (p. 418-487). https://doi.org/10.1002/9781119170174.epcn210.

Parker, T., Stone, M., Graden, B., Liebling, D., Agnone II, F. C., Howell, B. et Garefino, A. (1997-2021). [Série télévisée]. *South Park*. Celluloid Studios (1997); Braniff Productions (1997–2006); Parker-Stone Productions (2006–2007); South Park Studios (2007–present); Comedy Partners.

Parmelee, T. (réalis.). (1953). *The Tell-Tale Heart* [Film]. S. Bosustow (prod.). Columbia Pictures.

Passek, J.-L. (dir.). (2001). *Dictionnaire du cinéma*. Larousse.

Passingham, R. (2016). *Cognitive Neuroscience: A Very Short Introduction*. Oxford University Press.

Patterson, K. et Hodges, J. R. (1995). Disorders of Semantic Memory. Dans A. D. Baddeley, B. A. Wilson et F. N. Watts (dir.), *Handbook of memory disorders* (p. 167–186). John Wiley & Sons.

PBS, A. (2021, 23 novembre 2010). *Optical Illusions*. Arizona PBS: Arizona State University. Récupéré le 21 décembre 2021 de https://azpbs.org/horizon/2010/11/optical-illusions/

Pearl, J. et Mackenzie, D. (2018). *The Book of Why: The New Science of Cause and Effect*. Basic books.

Pécaud, S. (2018). *Cladistique et Évolution. Une fondation problématique-Introduction* (vol. 18). Classiques Garnier.

Perdreau, F. et Cavanagh, P. (2011). Do Artists See Their Retinas? [Original Research]. *Frontiers in Human Neuroscience*, *5*, 1-10, Article 171. https://doi.org/10.3389/fnhum.2011.00171

Perdreau, F. et Cavanagh, P. (2013). Is artists' perception more veridical? [Focused Review]. *Frontiers in Neuroscience*, *7*(6), 1-11, Article 6. https://doi.org/10.3389/fnins.2013.00006

Peri, D. (2010). *Working with Walt: Interviews with Disney Artists*. University Press of Mississippi.

Persichetti, B., Ramsey, P. et Rothman, R. (réalis.). (2018). *Spider-Man: Into the Spider-Verse* [Film]. A. Arad, A. Pascal, P. Lord, C. Miller et C. Steinberg (prod.). Sony Pictures Releasing.

Pertsch, J., McGillis, T., Dyer, S. et Murphy, D. (2004-2010). [Série télévisée]. *6teen*. Nelvana; Fresh TV; Oasis Animation.

Petersen, W. (réalis.). (1981). *Das Boot* [Film]. G. Rohrbach (prod.). Columbia Pictures.

Petrejus, J. D. (1547). *Ballistik* [Ballistik & Kanone] [Gravure sur bois en couleurs / Papier]. Deutsche Fotothek, Deutsche Fotothek. https://fotothek.slub-dresden.de/fotos/df/tg/0000000/df_tg_0000118.jpg

Petrov, A. (réalis.). (1999). *Le vieil homme et la mer* [Старик и море] [Film]. B. Lajoie et T. Shimamura (prod.). Productions Pascal Blais inc.

Piaget, J. (2013 [1929]). *La représentation du monde chez l'enfant*. Presses Universitaires de France.

Picholle, É. (2021). Suspension (in) volontaire d'incrédulité, émotions et science pathologique. Dans Y. Strickler, J.-S. Bergé et M. Ortolani (dir.), *Émotions et sciences : Interactions* (p. 143-155). L'Harmattan. https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-03567457/document.

Piéron, H. (1933). II. Remarques sur la perception du mouvement apparent. *L'Année psychologique*, 245-248. https://www.persee.fr/doc/psy_0003-5033_1933_num_34_1_29874

Piwek, L., McKay, L. S. et Pollick, F. E. (2014). Empirical evaluation of the uncanny valley hypothesis fails to confirm the predicted effect of motion. *Cognition*, *130*(3), 271-277. https://doi.org/10.1016/j.cognition.2013.11.001

Pixabay. (2016). *Zebra Fur* [Photographie]. Pexels.com. https://www.pexels.com/photo/zebra-fur-70376/

Plateau, J. (1829). *Dissertation sur quelques propriétés des impressions produites par la lumière sur l'organe de la vue* [Dissertation, Université de Liège]. Publié chez H. Dessain, Imprimeur-Libraire, Place du Palais, Liège. http://hdl.handle.net/2268/501

Plateau, J. (1835). Photométrie. Dans *Bulletins de l'Académie Royale des Sciences et Belles-Lettres de Bruxelles* (vol. II, p. 52-57). L'Académie Royale de Belgique. https://www.biodiversitylibrary.org/item/21688#page/66/mode/1up.

Plateau, J. (1850). Quatrième note sur de nouvelles applications curieuses de la persistance des impressions de la rétine. Dans *Bulletins de l'Académie Royale des Sciences, des Lettres et des Beaux-Arts de Belgique* (vol. XVI 2e partie, p. 254-260). L'Académie Royale de Belgique. https://www.biodiversitylibrary.org/item/20704#page/264/mode/1up.

Plateau, J. (1882). Sur des sensations que l'auteur éprouve dans les yeux. Dans *Bulletins de l'Académie Royale des Sciences, des Lettres et des Beaux-Arts de Belgique* (p. 241-243). https://www.biodiversitylibrary.org/item/111467#page/249/mode/1up.

Plett, R. (2017, 7 octobre 2017). *Bee Hive Palm Nest Tropical* [Photographie numérique]. Pixabay (Online). https://pixabay.com/photos/bee-hive-bee-palm-nest-tropical-2827583/

Pogue, D. (2018). A Brief History of Aspect Ratios, aka Screen Proportions [online]. *318*(3). https://doi.org/10.3389/fnhum.2011.00171

Pointer, R. (2017). *The Art and Inventions of Max Fleischer: American Animation Pioneer* (Kindle éd.). McFarland & Company.

Pollick, F. E. (2009). In Search of the Uncanny Valley. (p. 69-78). International Conference on User Centric Media, Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-12630-7_8

Pollmann, I. (2013). Invisible Worlds, Visible: Uexküll's Umwelt, Film, and Film Theory. *Critical Inquiry*, *39*(4), 777-816. https://www.jstor.org/stable/pdf/10.1086/671356.pdf

Pomerantz, J. R. (1983). The rubber pencil illusion. *Perception & Psychophysics*, *33*(4), 365-368. https://link.springer.com/content/pdf/10.3758/BF03205883.pdf

Pound, N., Lawson, D. W., Toma, A. M., Richmond, S., Zhurov, A. I. et Penton-Voak, I. S. (2014). Facial fluctuating asymmetry is not associated with childhood ill-health in a large British cohort study. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, *281*(1792), 20141639. https://doi.org/10.1098/rspb.2014.1639

Poyet, L. (1892). Le théâtre optique. *La nature: revue des sciences et de leurs applications aux arts et à l'industrie*, *Juillet*. http://minyos.its.rmit.edu.au/aim/a_notes/a_images/theatre_optique.jpg

Poyet, L. (c. 1897). *Cinématographe projection*. Bernard Chardère, Les Lumière, Payot Lausanne, 1985; Credits: Archives Château Lumière.

Pratt, J., Radulescu, P. V., Guo, R. M. et Abrams, R. A. (2010). It's Alive! Animate motion captures visual attention. *Psychological Science*, *21*(11), 1724-1730. https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/0956797610387440

Pressler, M. (1991). Poet and Professor on the Movies. *Gettysburg Review*, *4*(1), 157-165.

Prince, S. (2010). Through the Looking Glass: Philosophical Toys and Digital Visual Effects. *Projections*, *4*(2), 19-40. https://doi.org/10.3167/proj.2010.040203

Prinz, J. (2004). Which Emotions are Basic. Dans D. Evans et P. Cruse (dir.), *Emotion, evolution, and rationality* (p. 69-88). Oxford University Press. https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780198528975.003.0004.

Pritchard, R. M. (1961). Stabilized Images on the Retina. *Scientific American*, *204*(6), 72-79. https://www.caam.rice.edu/~cox/neuro/Pritchard.pdf

Prodger, P., Gunning, T. et Cleveland Museum of Art. (2003). *Time Stands Still: Muybridge and the Instantaneous Photography Movement* (P. Prodger, dir.). Oxford University Press in association with Iris & B. Gerald Cantor Center for Visual Arts at Stanford University.

Proffitt, D. R. et Baer, D. (2020). *Perception: How our Bodies Shape our Minds*. St. Martin's Press.

Pry, R. (2021). L'enfant et les paréidolies. *Enfance*, *2*(2), 205-211. https://doi.org/10.3917/enf2.212.0205

Pugh, G. E. (1977). *The Biological Origin of Human Values*. Basic Books.

Purkait, R. (2013). Growth Pattern of the Eye from Birth to Maturity: An Indian Study. *Aesthetic Plastic Surgery*, *37*(1), 128-134. https://doi.org/10.1007/s00266-012-0010-3

Purves, D., Augustine, G. J., Fitzpatrick, D., Hall, W. C., LaMantia, A.-S., McNamara, J. O. et Williams, S. M. (2004). *Neuroscience* (Third éd.). Sinauer Associates, Inc.

Purves, D., Augustine, G. J., Fitzpatrick, D., Hall, W. C., LaMantia, A.-S. et White, L. E. (2019). *Neuroscience* (International Sixth Edition éd.). Oxford University Press.

Purves, D., Paydarfar, J. A. et Andrews, T. J. (1996). The wagon wheel illusion in movies and reality. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *93*(8), 3693-3697. https://www.pnas.org/doi/pdf/10.1073/pnas.93.8.3693

Quinn, P. C. (2011). Born to Categorize. Dans U. Goswami (dir.), *The Wiley-Blackwell handbook of childhood cognitive development* (Second éd., p. 129-152). Blackwell Publishers Ltd.

Raimi, S. (réalis.). (2004). *Spider-Man 2* [Film]. L. Ziskin et A. Arad (prod.). Sony Pictures Releasing.

Rakison, D. H. et Poulin-Dubois, D. (2001). Developmental Origin of the Animate–Inanimate Distinction. *Psychological Bulletin*, *127*(2), 209-228. https://doi.org/10.1037/0033-2909.127.2.209

Ramachandran, V. S. (2006). Foreword. Dans A. Gilchrist (dir.), *Seeing Black and White - Oxford Psychology Series* (p. vii-xiv). Oxford University Press.

Ramachandran, V. S. et Anstis, S. M. (1986). The Perception of Apparent Motion. *Scientific American*, *254*(6), 102-109. http://www.jstor.org/stable/24975978

Ramachandran, V. S. et Blakeslee, S. (1998). *Phantoms in the Brain: Probing the Mysteries of the Human Mind*. William Morrow: HarperCollins.

Ramachandran, V. S. et Hirstein, W. (1999). The Science of Art: A Neurological Theory of Aesthetic Experience. *Journal of Consciousness Studies*, *6*(6-7), 15-51. https://bit.ly/3Aj3Pc1

Ramsaye, T. (1986 [1926]). *A Million and One Nights: A History of the Motion Picture Through 1925* (First Touchstone Edition éd.)(2). Simon & Schuster, Inc.

Redifer, J. L. et Jackola, K. (2022). Where Do Neuromyths Come From? Sources and Strength of Psychological Misconceptions. *Scholarship of Teaching and Learning in Psychology*. https://doi.org/10.1037/stl0000332

Redman, L. (2012 [1984]). *How To Draw Caricatures* (eBook éd.). McGraw-Hill Education.

Reeves, M. (réalis.). (2014). *Dawn of the Planet of the Apes* [Film]. P. Chernin, D. Clark, R. Jaffa et A. Silver (prod.). 20th Century Fox.

Reeves, M. (réalis.). (2017). *War for the Planet of the Apes* [Film]. P. Chernin, D. Clark, R. Jaffa et A. Silver (prod.). 20th Century Fox.

Reichardt, J. (dir.). (1971). *Cybernetics, art and ideas*. Studio Vista et New York Graphic Society Ltd.

Reichardt, J. (1978). *Robots: Fact, fiction, and prediction*. Thames and Hudson London.

Reichardt, J. (1994). Artificial Life and the Myth of Frankenstein. Dans S. Bann (dir.), *Frankenstein, Creation and Monstrosity* (p. 136-157). Reaktion Books Ltd.

Reiner, M., Slotta, J. D., Chi, M. T. H. et Resnick, L. B. (2000). Naive Physics Reasoning: A Commitment to Substance-Based Conceptions. *Cognition and Instruction*, *18*(1), 1-34. https://doi.org/10.1207/S1532690XCI1801_01

Reiniger, L. (réalis.). (1926). *Les Aventures du prince Ahmed* [Die Abenteuer des Prinzen Achmed] [Film]. L. Hagen (prod.).

Repin, I. (c. 1886). *They Did Not Expect Him (Unexpected Visitors)* [Peinture à l'huile sur toile]. Tretyakov Gallery, Moscow.

Rhodes, G. (1997). *Superportraits: Caricatures and Recognition*. Psychology Press.

Rhodes, G., Chan, J., Zebrowitz, L. A. et Simmons, L. W. (2003). Does sexual dimorphism in human faces signal health? *Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, *270*(suppl_1), S93-S95. https://doi.org/10.1098/rsbl.2003.0023

Ricciardi, E., Vanello, N., Sani, L., Gentili, C., Scilingo, E. P., Landini, L., Guazzelli, M., Bicchi, A., Haxby, J. V. et Pietrini, P. (2007). The Effect of Visual Experience on the Development of Functional Architecture in hMT+. *Cerebral Cortex*, *17*(12), 2933-2939. https://doi.org/10.1093/cercor/bhm018

Richardson, F. H. (1967 [1925]). What Happened in the Beginning (1925). Dans R. Fielding (dir.), *A Technological History of Motion Pictures and Television: an anthology from the pages of the Journal of the Society of Motion Picture and Television Engineers* (p. 23-41). University of California Press. https://archive.org/details/technologicalhis0000fiel.

Richmond, T. (2011). *The Mad Art of Caricature! A Serious Guide to Drawing Funny Faces*. Deadline Demon Pub.

Richter, J. P. (1880). *Leonardo*. Sampson Low, Marston, Searle & Rivington.

Riggs, L. A. et Ratliff, F. (1952). The Effects of Counteracting the Normal Movements of the Eye. *Journal of the Optical Society of America*, *42*(11), 872-873. https://archive.org/details/sim_optical-society-of-america-journal_1952-11_42_11/page/872/mode/2up

Rimé, B., Boulanger, B., Laubin, P., Richir, M. et Stroobants, K. (1985). The Perception of Interpersonal Emotions Originated by Patterns of Movement. *Motivation and emotion*, *9*(3), 241-260. https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/BF00991830.pdf

Robertson, J. (réalis.). (2012). *Making Movie History: Grant Munro [Online]* [Vidéo]. M. van Beusekom (prod.). Office national du film du Canada. https://blog.nfb.ca/blog/2018/06/01/masters-series-grant-munro/

Robins, R. W., Gosling, S. D. et Craik, K. H. (1999). An Empirical Analysis of Trends in Psychology. *American Psychologist*, *54*(2), 117. https://doi.org/10.1037/0003-066X.54.2.117

Robinson, J. O. (1998). *The Psychology of Visual Illusion* (Paperback éd.). Dover Publications.

Rocher, C. (réalis.). (1986). *Un Point c'est tout* [Film]. (prod.). Les Films du Soleil. https://vimeo.com/255001091

Rock, I. et Palmer, S. (1990). The Legacy of Gestalt Psychology. *Scientific American*, *263*(6), 84-91. https://www.jstor.org/stable/24997014

Rockhill, R. L., Euler, T. et Masland, R. H. (2000). Spatial order within but not between types of retinal neurons. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *97*(5), 2303-2307. https://doi.org/10.1073/pnas.030413497

Roddenberry, G. (1966-1969). [NTSC]. *Star Trek: The Original Series*. CBS Paramount Television.

Roediger III, H. L. et Craik, F. I. M. (1987). Paul A. Kolers (1926–1986) - Obituaries. *American Psychologist*, *42*(9), 873.

Roelofs, L. (2021). Is Panpsychism at Odds with Science? *Journal of Consciousness Studies*, *28*(9-10), 116-128. https://philarchive.org/archive/ROEIPA-3

Rogers, B. J. (2017). *Perception: A Very Short Introduction*. Oxford University Press.

Rogers, S. (2013). Truth, Lies, and Meaning in Slow Motion Images. Dans A. P. Shimamura (dir.), *Psychocinematics: Exploring Cognition at the Movies* (Kindle éd., p. 149-164). Oxford University Press.

Roget, P. M. (1825). Explanation of an optical deception in the appearance of the spokes of a wheel seen through vertical apertures. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, *115*, 131-140. https://royalsocietypublishing.org/doi/pdf/10.1098/rstl.1825.0007

Roland, C. et Vandermersch, L. (2003). *Dictionnaire de la psychanalyse*. Dans J. Faure (dir.), *Larousse* (3e éd., p. 480). Paris : Larousse.

Romero, A. J. (2013, 24 octobre 2013). *MALE FEMALE* [This composite head show the similarity and also the differences between male and female heads.] [Dessin]. deviantart.com. https://www.deviantart.com/abdonjromero/art/MALE-FEMALE-409168366

Rosch, E. et Mervis, C. B. (1975). Family resemblances: Studies in the internal structure of categories. *Cognitive Psychology*, *7*(4), 573-605. https://doi.org/10.1016/0010-0285(75)90024-9

Rosenzweig, M. R., Breedlove et Watson, N. V. (2005). *Biological Psychology: An Introduction to Behavioral and Cognitive Neuroscience* (Fourth éd.). Sinauer Associates.

Ross, S. (réalis.). (2017). *Brain Games - Heider-Simmel, Vagus Nerve, and Evolutionary Benefits of Helping [Online]* [Vidéo]. (prod.). National Geographic. https://youtu.be/cgJOw6_6_bQ

Ross, T. (1933). Machines That Think. *Scientific American*, *148*(4), 206-208. https://www.jstor.org/stable/10.2307/24966202

Rossion, B. (2008). Picture-plane inversion leads to qualitative changes of face perception. *Acta Psychologica*, *128*(2), 274-289. https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2008.02.003

Roth, L. S. et Kelber, A. (2004). Nocturnal colour vision in geckos. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, *271*(suppl_6), S485-S487. https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1810110/pdf/15801611.pdf

Rottonara. (2019, 17 juillet 2019). *Spiderweb* [Photographie numérique]. Pixabay (Online), Pixabay (Online). https://pixabay.com/photos/spiderweb-spider-nature-macro-near-4343491/

Roux, F.-E., Draper, L., Köpke, B. et Démonet, J.-F. (2010). Who actually read Exner? Returning to the source of the frontal "writing centre" hypothesis. *Cortex*, *46*(9), 1204-1210. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cortex.2010.03.001

Rowell, L. (1983). *Thinking About Music*. The University of Massachusetts Press. https://archive.org/details/thinkingaboutmus00rowe

Rozema, J. J., Zakaria, N. et Dhubhghaill, S. N. (2022, Apr-Jun). A deep look into animated eyes. *Journal of Optometry*, *15*(2), 107-111. https://doi.org/10.1016/j.optom.2022.02.001

Russell, B. (2019 [1903]). *Principles of Mathematics* (Online Edition [Version 0.16] éd.). Routledge. https://people.umass.edu/klement/pom/pom.pdf

Russell, R., Duchaine, B. et Nakayama, K. (2009). Super-recognizers: People with extraordinary face recognition ability. *Psychonomic Bulletin & Review*, *16*(2), 252-257. https://link.springer.com/content/pdf/10.3758/PBR.16.2.252

Ryan, T. A. et Schwartz, C. B. (1956). Speed of Perception as a Function of Mode of Representation. *The American Journal of Psychology*, *69*(1), 60-69. https://doi.org/10.2307/1418115

Ryer, A. (1997). *Light Measurement Handbook*. Technical Publications Dept. International Light, Inc. http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.24.2078

Sacks, O. W. (2010). *The Mind's Eye* (1 éd.). Borzoi Books, Alfred A. Knopf Canada.

Sadoul, G. (1948). *Histoire générale du cinéma. L'invention du cinéma : 1832-1897* (vol. 1)(6). Denoël.

Sagan, D. (2013). Introduction (J. D. O'Neill, trad.). Dans C. Wolfe (dir.), *A Foray into the Worlds of Animals and Humans: With a Theory of Meaning* (Google Books éd., vol. 12, p. 9-41). University of Minnesota Press.

Sagiv, N. et Bentin, S. (2001). Structural Encoding of Human and Schematic Faces: Holistic and Part-Based Processes. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *13*(7), 937-951. https://doi.org/10.1162/089892901753165854

Saint-Gelais, R. et Blanchet, P. (réalis.). (2019). *Le cortège* [Film]. J. Roy (prod.). Office national du film du Canada. https://www.onf.ca/film/cortege/

Sakaguchi, H. et Sakakibara, M. (réalis.). (2001). *Final Fantasy: The Spirits Within* [Film]. J. Aida, C. Lee, A. Sakai et Square Co. Ltd (prod.). Columbia Pictures.

Salmon, R., Borer, T., Pindoria, M., Price, M. et Sheikh, A. (2014). Higher Frame Rates for Television. *SMPTE Motion Imaging Journal*, *123*(4), 50-55. https://doi.org/10.5594/j18416

Salt, B. (2006). *Moving into Pictures*. Starword.

Salt, B. (2009). *Film Style and Technology: History and Analysis*. Starword.

Sanborn, A. N., Mansinghka, V. K. et Griffiths, T. L. (2013). Reconciling Intuitive Physics and Newtonian Mechanics for Colliding Objects. *Psychological Review*, *120*(2), 411. http://wrap.warwick.ac.uk/54487

Sanchez, J.-L. (2012). Alphonse Bertillon et la méthode anthropométrique. *Sens-Dessous*, *10*(1), 64-74. https://doi.org/10.3917/sdes.010.0064

Sands, P. N. (1966). *A Historical Study of the Academy of Motion Picture Arts and Sciences (1927-1947)* (Publication n° 6708027) [Dissertation, University of Southern California]. ProQuest Dissertations & Theses Global. Ann Arbor. https://www.proquest.com/dissertations-theses/historical-study-academy-motion-picture-arts/docview/288007464/se-2

Sarris, V. (2012). Synopsis of Max Wertheimer's 1912 Article. Dans L. Spillmann (dir.), *On Perceived Motion and Figural Organization* (p. 93-99). MIT Press.

Sarris, V. et Wertheimer, M. (1987). Max Wertheimer (1880-1943) im Bilddokument-ein historiografischer Beitrag. *Psychologische Beiträge*, *29*, 469-493.

Saussure, F. d. (1972 [1916]). *Cours de linguistique générale*. http://philosophie.ac-creteil.fr/docrestreint.api/1568/9c8f8295a448df75e861e1116d061b2d2d941c16/pdf/c/0/a/cours_de_linguistique_generale_texte_entier.pdf

Scheib, J. E., Gangestad, S. W. et Thornhill, R. (1999). Facial attractiveness, symmetry and cues of good genes. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, *266*(1431), 1913-1917. https://doi.org/10.1098/rspb.1999.0866

Scheimer, L. (1983-1985). [Série télévisée]. *He-Man and the Masters of the Universe*. Filmation Associates; Mattel.

Scherer, K. R. (2000). Psychological Models of Emotion. Dans J. C. Borod (dir.), *The Neuropsychology of Emotion* (p. 137-162). Oxford University Press.

Schickel, R. (2019). *The Disney Version: The Life, Times, Art and Commerce of Walt Disney* (Third [Kindle] éd.). Simon & Schuster Paperbacks.

Schiffman, H. R. (2001). *Sensation and Perception: An Integrated Approach* (Fifth éd.). John Wiley & Sons, Inc.

Scholl, B. J. et Tremoulet, P. D. (2000). Perceptual causality and animacy. *Trends in Cognitive Sciences*, *4*(8), 299-309. https://doi.org/10.1016/S1364-6613(00)01506-0

Schuler, R. K. (2016). *Seeing Motion: A History of Visual Perception in Art and Science*. Walter de Gruyter GmbH & Co KG.

Schumacher, J. (réalis.). (1995). *Batman Forever* [Film]. T. Burton et S. MacGregor-Scott (prod.). Warner Bros.

Schwartz, B. L. et Krantz, J. H. (2018). *Sensation and Perception Interactive Edition* (Second éd.). SAGE Publications.

Schwartz, B. L. et Krantz, J. H. (2019). *Sensation and Perception Interactive eBook* (eBook éd.). SAGE Publications.

Schwartz, S. H. (2017). *Visual Perception: A Clinical Orientation* (Fifth éd.). McGraw Hill Education.

Science and Technology Council. (2021). Récupéré le 28 novembre 2021 de https://www.oscars.org/learn/science-technology

Scott, R. (réalis.). (2012). *Prometheus* [Film]. D. Giler, D. Hill et R. Scott (prod.). 20th Century Fox.

Sedan, I. (réalis.). (2009). *L'homme qui dort* [Film]. R. Dyens, A. Prévieu, M. Jean, G. Marion-Gauvin, M. Bertrand et R. Chénier (prod.). Office national du film du Canada. https://www.onf.ca/film/homme_qui_dort/

Sekuler, R. (2012). Motion Perception: A Modern View of Wertheimer's 1912 Monograph. Dans L. Spillmann (dir.), (p. 101-125). MIT Press.

Sekuler, R. et Blake, R. (2002). *Perception* (J. E. Karpacz, dir. Fourth éd.). McGraw-Hill.

Sekuler, R. et Blake, R. (2006). *Perception* (Fifth [International] éd.). McGraw-Hill.

Selick, H. (réalis.). (1993). *The Nightmare Before Christmas* [Film]. T. Burton et D. Di Novi (prod.). Buena Vista Pictures Distribution.

Selick, H. (réalis.). (2009). *Coraline* [Film]. B. Mechanic, C. Jennings, H. Selick et M. Sandell (prod.). Focus Features.

Selket. (2007). *Ventral-dorsal streams*. Wikipedia. https://en.wikipedia.org/wiki/File:Ventral-dorsal_streams.svg

Serences, J. T. (2008). Value-Based Modulations in Human Visual Cortex. *Neuron*, *60*(6), 1169-1181. https://doi.org/10.1016/j.neuron.2008.10.051

Serences, J. T. et Saproo, S. (2010). Population Response Profiles in Early Visual Cortex Are Biased in Favor of More Valuable Stimuli. *Journal of Neurophysiology*, *104*(1), 76-87. https://doi.org/10.1152/jn.01090.2009

Serkis, A. (réalis.). (2018). *Mowgli: Legend of the Jungle* [Film]. S. Kloves, J. Cavendish et D. Barron (prod.). Warner Bros. Pictures et The Imaginarium.

Seyama, J. i. et Nagayama, R. S. (2007). The Uncanny Valley: Effect of Realism on the Impression of Artificial Human Faces. *Presence*, *16*(4), 337-351. https://doi.org/10.1162/pres.16.4.337

Shaffer, D. R., Wood, E. et Willoughby, T. (2005). *Developmental Psychology: Childhood and Adolescence* (Second Canadian Edition éd.). W. Ross MacDonald School, Resource Services Library.

Sharits, P. (réalis.). (1968). *Razor Blades* [Film]. P. Sharits (prod.).

Sharpsteen, B. (réalis.). (1941). *Dumbo* [Film]. W. Disney (prod.). RKO Radio Pictures.

Sherwood, M. et Sutton, C. (1990). *La Physique* (P. Furtado, dir.; O. Ricklin, trad.). France Loisirs. (Publication originale en Hutchison Encyclopedia of Science in Everyday Life)

Shiffrar, M. et Freyd, J. J. (1990). Apparent motion of the human body. *Psychological Science*, *1*(4), 257-264. https://doi.org/10.1111/j.1467-9280.1990.tb00210.x

Shiffrar, M. et Freyd, J. J. (1993). Timing and apparent motion path choice with human body photographs. *Psychological Science*, *4*(6), 379-384. https://doi.org/10.1111/j.1467-9280.1993.tb00585.x

Shimamura, A. P. (2013). *Psychocinematics: Exploring Cognition at the Movies* (Kindle éd.). Oxford University Press.

Shimamura, Arthur P. (2013). Psychocinematics: Issues and Directions. Dans A. P. Shimamura (dir.), *Psychocinematics: Exploring Cognition at the Movies* (Kindle éd., p. 1-26). Oxford University Press. https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780199862139.003.0001.

Shimojo, S., Kamitani, Y. et Nishida, S. y. (2001). Afterimage of Perceptually Filled-in Surface. *Science*, *293*(5535), 1677-1680. https://doi.org/10.1126/science.1060161

Shipley, T. E. (1961). *Classics in Psychology* (1 éd.). Philosophical Library.

Shipley, T. F. (2003). The Effect of Object and Event Orientation on Perception of Biological Motion. *Psychological Science*, *14*(4), 377-380. https://doi.org/10.1111/1467-9280.24471

Shishkin, I. et Savitsky, K. (1889). *Morning in a Pine Forest* [Peinture à l'huile sur toile]. Tretyakov Gallery, Moscow. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Utro_v_sosnovom_lesu.jpg

Showscan: What it is and How it Works. (1984). *Cinefantastique*, *September*(4-5), 108.

Siegel, J. et Shuster, J. (1940). *Superman Action Comics* (vol. January) : DC Comics.

Siegel, R. K. (1977). Hallucinations. *Scientific American*, *237*(4), 132-141. http://www.jstor.org/stable/24953969

Siegfried, Z. et Gloria, C. (2006). *Deep Time of the Media: Toward an Archaeology of Hearing and Seeing by Technical Means* (G. Custance, trad.). The MIT Press. (Publication originale en Archäologie der Medien: Zur Tiefenzeit des technischen Hörens und Sehens)

Sierra-Hidalgo, F. et de Pablo-Fernández, E. (2013). Palinopsia Induced by Topiramate and Zonisamide in a Patient With Migraine. *Clinical Neuropharmacology*, *36*(2), 63-64. https://doi.org/10.1097/WNF.0b013e3182849208

Sifianos, G. (1995). *The Definition of Animation: A Letter from Norman McLaren* (vol. 3, pp. 62-66) : Animation Journal.

Simons, D. J. et Chabris, C. F. (1999). Gorillas in our midst: sustained inattentional blindness for dynamic events. *Perception*, *28*(9), 1059-1074. https://doi.org/10.1068/p281059

Simons, D. J. et Levin, D. T. (1998). Failure to detect changes to people during a real-world interaction. *Psychonomic Bulletin & Review*, *5*(4), 644-649. https://doi.org/10.3758/BF03208840

Singer, B. (réalis.). (2000). *X-Men* [Film]. L. S. Donner et R. Winter (prod.). 20th Century Fox.

Singh, D., Dixson, B. J., Jessop, T. S., Morgan, B. et Dixson, A. F. (2010). Cross-cultural consensus for waist–hip ratio and women's attractiveness. *Evolution and Human Behavior*, *31*(3), 176-181. https://doi.org/10.1016/j.evolhumbehav.2009.09.001

Sinnerbrink, R. (2019). Poststructuralism and Film. Dans N. Carroll, L. T. Di Summa-Knoop et S. Loht (dir.), *The Palgrave Handbook of the Philosophy of Film and Motion Pictures* (p. 441-465). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-19601-1_19.

Skottun, B. C. (2015). On the use of spatial frequency to isolate contributions from the magnocellular and parvocellular systems and the dorsal and ventral cortical streams. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, *56*, 266-275. https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2015.07.002

Skrbina, D. (2017). *Panpsychism in the West* (Revised éd.). MIT press.

Small, E. S. (1992). Introduction: Cognitivism and Film Theory. *Journal of Dramatic Theory and Criticism*(Spring), 165-172. https://journals.ku.edu/index.php/jdtc/article/download/1842/1805

Smith, E. E. et Medin, D. L. (1981). Categories and Concepts. *Cognitive Science Series*, *4*. https://doi.org/10.4159/harvard.9780674866270

Snowden, R. J. et Braddick, O. J. (1991). The temporal integration and resolution of velocity signals. *Vision Research*, *31*(5), 907-914. https://www.academia.edu/download/50964852/0042-6989_2891_2990156-y20161219-24455-1lee6jp.pdf

Snyder, L. J. (2015). *Eye of the Beholder: Johannes Vermeer, Antoni van Leeuwenhoek, and the Reinvention of Seeing*. W.W. Norton & Company.

Snyder, Z. (réalis.). (2017). *Justice League* [Film]. C. Roven, D. Snyder, J. Berg et G. Johns (prod.). Warner Bros. Pictures.

Sokoliuk, R. et VanRullen, R. (2019). Perceptual Illusions Caused by Discrete Sampling. Dans A. Valtteri, A. Bardon, S. E. Power et A. Vatakis (dir.), *The Illusions of Time: Philosophical and Psychological Essays on Timing and Time Perception* (p. 315-338). Palgrave MacMillan. https://doi.org/10.1007/978-3-030-22048-8_17.

Solomon, C. (1996). *Les pionniers du dessin animé américain*. Dreamland.

Solomon, C. (2020). A Place of Wonder: Hyperion Studios (1926-1940). Dans D. Kothenschulte (dir.), *The Walt Disney Film Archives. the Animated Movies 1921-1968. 40th Ed* (p. 50-63). Taschen.

Souriau, É. (dir.). (1953). *L'univers filmique*. Flammarion.

Spence, C. (2011). Crossmodal correspondences: A tutorial review. *Attention, Perception, & Psychophysics*, *73*(4), 971-995. https://doi.org/10.3758/s13414-010-0073-7

Sperling, G. (1960). The Information Available in Brief Visual Presentations. *Psychological Monographs: General and Applied*, *74*(11), 1-29. https://doi.org/10.1037/h0093759

Sperling, G. et Weichselgartner, E. (1995). Episodic Theory of the Dynamics of Spatial Attention. *Psychological Review*, *102*(3), 503-532. https://doi.org/10.1037/0033-295X.102.3.503

Spielberg, S. (réalis.). (1993). *Jurassic Park* [Film]. K. Kennedy et G. R. Molen (prod.). Universal Pictures.

Spielberg, S. (réalis.). (1998). *Saving Private Ryan* [Film]. S. Spielberg, I. Bryce, A. L. Segan, M. Gordon et G. Levinsohn (prod.). DreamWorks Pictures.

Spielberg, S. (réalis.). (2018). *Ready Player One* [Film]. D. De Line, K. M. Krieger, S. Spielberg et D. Farah (prod.). Warner Bros. Pictures.

Spillmann, J. et Spillmann, L. (1993). The rise and fall of Hugo Münsterberg. *Journal of the History of the Behavioral Sciences*, *29*(4), 322-338. https://doi.org/10.1002/1520-6696(199310)29:4<322::AID-JHBS2300290403>3.0.CO;2-1

Spivey, N. J. (2005). *How Art Made the World: A Journey to the Origins of Human Creativity*. Basic Books.

Steinlein, A. (2007). *Une esthétique de l'authentique: les films de la Nouvelle Vague*. L'Harmattan.

Steinman, R. M., Pizlo, Z. et Pizlo, F. J. (2000). Phi is not beta, and why Wertheimer's discovery launched the Gestalt revolution. *Vision Research*, *40*(17), 2257-2264. https://doi.org/10.1016/S0042-6989(00)00086-9

Stetson, C., Fiesta, M. P. et Eagleman, D. M. (2007). Does Time Really Slow Down during a Frightening Event? *PLoS One*, *2*(12), e1295. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0001295

Stevens, J. A., Fonlupt, P., Shiffrar, M. et Decety, J. (2000). New aspects of motion perception: selective neural encoding of apparent human movements. *Neuroreport*, *11*(1), 109-115. https://doi.org/10.1.1.1056.8629

Stevens, S. S. (1973). Edwin Garrigues Boring: 1886-1968. *Biographical Memoirs. National Academy of Sciences (US)*, *43*, 41-76. https://doi.org/10.1037/11154-002

Stevenson, N. et Austen, C. (2018-2020). Dans N. Stevenson, *She-Ra and the Princesses of Power*. Netflix et NBC Universal Television Distribution.

Stevenson, R. (réalis.). (1964). *Mary Poppins* [Film]. W. Disney (prod.). Buena Vista Distribution Company.

Stock, A. (2014). Schumann's wheel tachistoscope: Its reconstruction and its operation. *History of Psychology*, *17*(2), 149. https://doi.org/10.1037/a0035332

Straczynski, J. M. (1994-1998). *Babylon 5*. Warner Bros.

Streeter, S. A. et McBurney, D. H. (2003). Waist–hip ratio and attractiveness: New evidence and a critique of "a critical test". *Evolution and Human Behavior*, *24*(2), 88-98. https://doi.org/10.1016/S1090-5138(02)00121-6

Strong, D. S. (1967). *Leonardo da Vinci on the Eye: The Ms D in the Bibliothèque de L'Institut de France, Paris Translated into English and Annotated with a Study of Leonardo's Theories of Optics* (Publication n° 6800246) [Dissertation, University of California, Los Angeles]. ProQuest Dissertations & Theses Global. Ann Arbor. https://bit.ly/3BZ1Bj7

Sugiyama, L. S. (2004). Is beauty in the context-sensitive adaptations of the beholder?: Shiwiar use of waist-to-hip ratio in assessments of female mate value. *Evolution and Human Behavior*, *25*(1), 51-62. https://doi.org/10.1016/S1090-5138(03)00083-7

Sunaert, S., Van Hecke, P., Marchal, G. et Orban, G. A. (1999). Motion-responsive regions of the human brain. *Experimental Brain Research*, *127*(4), 355-370. https://doi.org/10.1007/s002210050804

Sutton, J. P. (2006). Hidden music: An exploration of silence in music and music therapy. Dans I. Deliège et G. A. Wiggins (dir.), *Musical Creativity* (p. 252-271). Psychology Press. https://bit.ly/3bPpu29.

Švankmajer, J. (réalis.). (1982). *Dimensions of Dialogue (Moznosti dialogu)* [Film]. (prod.). Krátký Film Praha.

Švankmajer, J. (réalis.). (1988). *Alice* [Něco z Alenky] [Film]. J. Kallista (prod.). Krátký Film Praha.

Swaby, R. (2015). *Headstrong: 52 Women Who Changed Science-and the World*. Broadway Books.

Swami, V. et Tovée, M. J. (2005). Male physical attractiveness in Britain and Malaysia: A cross-cultural study. *Body Image*, *2*(4), 383-393. https://doi.org/10.1016/j.bodyim.2005.08.001

Taillet, R., Villain, L. et Febvre, P. (2018). *Dictionnaire de physique*. De Boeck Supérieur.

Talbot, H. F. (1834). Experiments of Light. Dans *The London and Edinburgh Philosophical Magazine and Journal of Science* (vol. V: July-December, p. 321-334). Richard Taylor, Printer of the University of London. https://www.biodiversitylibrary.org/item/19968#page/337/mode/1up.

Tartakovsky, G. et Lazzo, M. (2001-2004). [Série télévisée]. *Samurai Jack*. Warner Bros. Television Distribution.

Tartalacitrouille. (2009, 4 mai 2020). *12 principes de base de l'animation*. Wikipedia. Récupéré le 20 juillet 2022 de https://fr.wikipedia.org/wiki/12_principes_de_base_de_l%27animation

Taubert, J., Flessert, M., Wardle, S. G., Basile, B. M., Murphy, A. P., Murray, E. A. et Ungerleider, L. G. (2018). Amygdala lesions eliminate viewing preferences for faces in rhesus monkeys. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *115*(31), 8043-8048. https://doi.org/10.1073/pnas.1807245115

Taubert, J., Wardle, S. G., Flessert, M., Leopold, D. A. et Ungerleider, L. G. (2017). Face Pareidolia in the Rhesus Monkey. *Current Biology*, *27*(16), 2505-2509. https://doi.org/10.1016/j.cub.2017.06.075

Tavris, C., Wade, C., Gagnon, A., Goulet, C. et Wiedmann, P. (1999). *Introduction à la psychologie : Les grandes perspectives* (P. Mayer, trad.). Éditions du Renouveau Pédagogiques : Sciences humaines. (Publication originale en Psychology in Perspective)

Taylor, A. (réalis.). (2013). *Thor: The Dark World* [Film]. K. Feige (prod.). Walt Disney Studios Motion Pictures.

Templin, K., Didyk, P., Myszkowski, K. et Seidel, H.-P. (2016). Emulating displays with continuously varying frame rates. *ACM Trans. Graph.*, *35*(4), 1-11, Article 67. https://doi.org/10.1145/2897824.2925879

Terano, T. (2008). Beyond the KISS principle for agent-based social simulation. *Journal of Socio-Informatics*, *1*(1), 175-187. https://www.jstage.jst.go.jp/article/jsi/1/1/1_KJ00005825795/_pdf

Terpening, Z. et Watson, J. D. (2007). Higher visuoperceptual disorders and disorders of spatial cognition. Dans *Neurology and Clinical Neuroscience* (p. 59-71). Mosby Inc. https://doi.org/10.1016/B978-0-323-03354-1.50009-2.

Thaler, L. et Todd, J. T. (2006). The rubber pencil illusion. *Journal of Vision*, *6*(6), 634. https://doi.org/10.1167/6.6.634

The Wachowskis (réalis.). (1999). *The Matrix* [Film]. J. Silver (prod.). Warner Bros.

The Wachowskis (réalis.). (2003). *The Matrix Reloaded* [Film]. J. Silver (prod.). Warner Bros. Pictures.

Thesen, T. P. (2020). Reviewing and Updating the 12 Principles of Animation. *Animation*, *15*(3), 276-296. https://doi.org/10.1177/1746847720969919

Thigpen, N., Petro, N. M., Oschwald, J., Oberaeur, K. et Keil, A. (2019). Selection of Visual Objects in Perception and Working Memory One at a Time. *Psychological Science*, *30*(9), 1259-1272. https://doi.org/10.1177/0956797619854067

Thomas, F. et Johnston, O. (1981). *The Illusion of Life: Disney Animation*. Disney Editions.

Thompson, C. (2017). *WHEN APPS GET TOO HUMAN, THEY TUMBLE INTO THE UNCANNY VALLEY*. Wired. Récupéré le 20 juillet 2018 de https://www.wired.com/2017/02/clive-thompson-14/

Thompson, K. et Bordwell, D. (2010). *Film History: An Introduction* (Third éd.). McGraw-Hill Education.

Thompson, K. et Bordwell, D. (2019). *Film History: An Introduction* (Fourth éd.). McGraw-Hill Education.

Thompson, K. M. (2012). Classical Cel Animation, World War II, and Bambi. Dans C. Lucia, R. Grundmann et A. Simon (dir.), *The Wiley-Blackwell History of American Film* (vol. 1, p. 358-378). Blackwell Publishing Ltd.

Thompson, K. M. (2021). Disney, DuPont and Faber Birren: Hollywood and the Color Revolution. Dans P. Gates et K. Spring (dir.), *Resetting the Scene - Classical Hollywood Revisited* (p. 118-130). Wayne State University Press. https://www.academia.edu/download/67849075/first_proof.ch9.Thompson.pdf.

Thornhill, R. et Gangestad, S. W. (1999). Facial attractiveness. *Trends in Cognitive Sciences*, *3*(12), 452-460. https://doi.org/10.1016/S1364-6613(99)01403-5

Tibbetts, J. C. (2015). *Those Who Made It: Speaking with the Legends of Hollywood*. Palgrave Macmillan UK.

Tietenberg, T. H. et Lewis, L. (2018). *Environmental and Natural Resource Economics* (11th éd.). Routledge Taylor & Francis.

Tinbergen, N. et Perdeck, A. C. (1951). On the stimulus situation releasing the begging response in the newly hatched herring gull chick (Larus argentatus argentatus Pont.). *Behaviour*, *3*(1), 1-39. https://www.jstor.org/stable/pdf/4532715.pdf

Tinwell, A. (2009). Uncanny as Usability Obstacle. (p. 622-631). International Conference on Online Communities and Social Computing, Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-02774-1_67

Tinwell, A., Nabi, D. A. et Charlton, J. P. (2013). Perception of psychopathy and the Uncanny Valley in virtual characters. *Computers in Human Behavior*, *29*(4), 1617-1625. https://doi.org/10.1016/j.chb.2013.01.008

Todd, J. T. et Warren Jr, W. H. (1982). Visual perception of relative mass in dynamic events. *Perception*, *11*(3), 325-335. https://doi.org/10.1068/p110325

Tomalski, P., Csibra, G. et Johnson, M. H. (2009). Rapid Orienting toward Face-like Stimuli with Gaze-Relevant Contrast Information. *Perception*, *38*(4), 569-578. https://doi.org/10.1068/p6137

Tomasello, M., Hare, B., Lehmann, H. et Call, J. (2007). Reliance on head versus eyes in the gaze following of great apes and human infants: the cooperative eye hypothesis. *Journal of Human Evolution*, *52*(3), 314-320. https://doi.org/10.1016/j.jhevol.2006.10.001

Tooley, M. (1988). In Defense of the Existence of States of Motion. *Philosophical Topics*, *16*(1), 225-254. http://www.jstor.org/stable/43154020

Torre, D. (2014). Cognitive animation theory: A process-based reading of animation and human cognition. *Animation*, *9*(1), 47-64. https://doi.org/10.1177/1746847713519390

Torre, D. (2017). *Animation - Process, Cognition and Actuality*. Bloomsbury Publishing USA.

Torre, D. (2021). Replacing Coraline. Dans M. Mihailova (dir.), *Coraline: A Closer Look at Studio LAIKA's Stop-Motion Witchcraft* (p. 97-114). Bloomsbury Academic. https://bit.ly/3PpTsYa.

Tovée, M. J. (1995). Ultra-violet photoreceptors in the animal kingdom: their distribution and function. *Trends in Ecology & Evolution*, *10*(11), 455-460. https://doi.org/10.1016/S0169-5347(00)89179-X

Troje, N. F. (2002). Decomposing biological motion: A framework for analysis and synthesis of human gait patterns. *Journal of Vision*, *2*(5), 371-387. https://doi.org/10.1167/2.5.2

Troje, N. F. (2013). What Is Biological Motion? Definition, Stimuli, and Paradigms. Dans M. D. Rutherford et V. A. Kuhlmeier (dir.), *Social perception: Detection and interpretation of animacy, agency, and intention* (p. 13-36). MIT Press.

Troje, N. F. (2019). Reality Check [Editorial]. *Perception: Sage Journals*, 1-6. https://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1177/0301006619879062

Troje, N. F. et Basbaum, A. (2008). Biological motion perception. *The senses: A comprehensive reference*, *2*, 231-238. https://www.biomotionlab.ca/Text/biomotionTroje08.pdf

Troje, N. F., Sadr, J., Geyer, H. et Nakayama, K. (2006). Adaptation aftereffects in the perception of gender from biological motion. *Journal of Vision*, *6*(8), 850–857. https://doi.org/10.1167/6.8.7

Troje, N. F. et Westhoff, C. (2006). The Inversion Effect in Biological Motion Perception: Evidence for a ''Life Detector''? *Current Biology*, *16*(8), 821-824. https://doi.org/10.1016/j.cub.2006.03.022

Troje, N. F., Westhoff, C. et Lavrov, M. (2005). Person identification from biological motion: Effects of structural and kinematic cues. *Perception & Psychophysics*, *67*(4), 667-675. https://doi.org/10.3758/BF03193523

Trumbull, D. (1985). *Motion Picture System* (n° 4560260 A). https://bit.ly/3pcQU50

Trumbull, D. (2021). Foreword. Dans *The Cinema in Flux: The Evolution of Motion Picture Technology from the Magic Lantern to the Digital Era* (eBook éd., p. ix). Springer.

Tryon, C. (2013). Reboot cinema. *Convergence*, *19*(4), 432-437. https://www.academia.edu/download/32852896/reboot_cinema_proof.pdf

Turnock, J. (2013). Removing the Pane of Glass: The Hobbit, 3D High Frame Rate Filmmaking, and the Rhetoric of Digital Convergence. *Film Criticism*, *37*(3/1), 30-54. https://search.proquest.com/openview/a7bb05c9daf972d987ea0aa67797e00b/1.pdf?pq-origsite=gscholar&cbl=11969

Turvey, M. T. (2018). *Lectures on Perception: An Ecological Perspective*. Taylor & Francis.

Tüscher, A. (2004). L'horizon pour connaître, l'horizontal pour agir. https://bit.ly/3PcFk4g

Tylor, E. B. (1920 [1871]). *Primitive culture: Researches into the development of mythology, philosophy, religion, art and custom* (vol. 1). John Murray. https://archive.org/details/in.ernet.dli.2015.42334

Ungerleider, L. G. et Mishkin, M. (1982). Two Cortical Visual Systems. Dans D. J. Ingle, M. A. Goodale et R. J. W. Mansfield (dir.), *Analysis of Visual Behavior* (p. 549-586). https://www.cns.nyu.edu/~tony/vns/readings/ungerleider-mishkin-1982.pdf.

USCICT (réalis.). (2014). *Out of Shape [Online]* [Vidéo]. (prod.). YouTube. https://youtu.be/ZAnt9II-5Co

Van Brabant, L. (2018). Filmer la scène des silhouettes: Les cadres scéniques et filmiques de Lotte Reiniger. *Etudes theatrales*, *68*(1), 39-47. https://doi.org/10.3917/etth.068.0039

van Dijk, W. W. et Ouwerkerk, J. W. (2014). Introduction to schadenfreude. Dans W. W. van Dijk et J. W. Ouwerkerk (dir.), *Schadenfreude: Understanding Pleasure at the Misfortune of Others* (p. 1-13). Cambridge University Press.

van Gennep, A. (1903). De l'emploi du mot « chamanisme ». *Revue de l'histoire des religions*, *47*, 51-57. http://www.jstor.org/stable/23661734

van Lier, R., Vergeer, M. et Anstis, S. (2009). Filling-in afterimage colors between the lines. *Current Biology*, *19*(8), R323-R324. https://doi.org/10.1016/j.cub.2009.03.010

van Tonder, G. J. et Ejima, Y. (2000). Bottom–up clues in target finding: Why a Dalmatian may be mistaken for an elephant. *Perception*, *29*(2), 149-157. https://doi.org/10.1068/p2928

van Wyhe, J. (2020). An Introduction. Dans *On the Origin of Species: The Science Classic* (1 éd., p. vii-xxiv). Capstone.

VandenBos, G. R. (2007). *APA College Dictionary of Psychology* (1 éd.). American Psychological Association.

VandenBos, G. R. (2015). *APA Dictionary of Psychology, Revised Second Edition* (Kindle éd.) : American Psychological Association.

VandenBos, G. R. (2016). *APA College Dictionary of Psychology* (Second éd.). American Psychological Association.

VanRullen, R. (2007). The continuous Wagon Wheel Illusion depends on, but is not identical to neuronal adaptation. *Vision Research*, *47*(16), 2143-2149. https://doi.org/10.1016/j.visres.2007.03.019

Vaucher, P. (réalis.). (2001). *Chasse papillon* [Film]. P. Hébert et M. Jean (prod.). Office national du film du Canada.

Vaucher, P. (réalis.). (2013). *Le puits* [Film]. M. Jean et G. Marion-Gauvin (prod.). Productions Unité centrale. https://youtu.be/zdKnrMJBtms

Vaucher, P. (réalis.). (2021). *Vaudeville Vaucher* [Vidéo]. E. Vaucher (prod.). https://youtu.be/BHBxbPdXqUs

Vaughn, V., Billingsley, P., Burr, B., Price, M., O'Connell, K., Todd Ellis, E., Dumas, S., Prynoski, C. et Riandee, C. (2015-2021). [Série télévisée]. *F Is for Family*. Wild West Television; Loner Productions; Big Jump Proctions; King of France Productions; Oasis Animation; Titmouse, Inc.; Gaumont Animation.

Verdon, W. et Adams, A. J. (1987, 1987/01/01). Short-wavelength-sensitive cones do not contribute to mesopic luminosity. *Journal of the Optical Society of America A*, *4*(1), 91-95. https://doi.org/10.1364/JOSAA.4.000091

Verriest, G. (1990). Life, eye disease and work of Joseph Plateau. *Documenta Ophthalmologica*, *74*(1), 9-20. https://doi.org/10.1007/BF00165660

Verstraten, F. A., Niehorster, D. C., van de Grind, W. A. et Wade, N. J. (2015). Sigmund Exner's (1887) Einige Beobachtungen über Bewegungsnachbilder (Some Observations on Movement Aftereffects): An Illustrated Translation With Commentary. *i-Perception*, *6*(5), 2041669515593044. https://doi.org/10.1177/2041669515593044

Vilain, C. (2006). Impetus. Dans D. Lecourt (dir.), *Dictionnaire d'histoire et philosophie des sciences* (4e éd., p. 591-594). Quadrige / Presses universitaires de France.

Vlessing, E. (12 décembre 2012). Imax to Show 'The Hobbit: An Unexpected Journey' in High Frame Rate 3D [Online]. *The Hollywood Reporter*. https://www.hollywoodreporter.com/news/general-news/hobbit-an-unexpected-journey-imax-401724/

von Goethe, J. W. (1843). *Poésies* (H. Blaze, trad.). Charpentier, Libraire-Éditeur. https://archive.org/details/bub_gb_LWwhFTetRusC

von Uexküll, J. (2013 [1934]). *A Foray into the Worlds of Animals and Humans [1934]: With a Theory of Meaning [1940]* (Google Books éd., vol. 12; J. D. O'Neill, trad.). University of Minnesota Press. (Publication originale en Streifzüge durch die Umwelten von Tieren und Menschen [1934]; Bedeutungslehre [1940])

Vosniadou, S. et Skopeliti, I. (2014). Conceptual Change from the Framework Theory Side of the Fence. *Science & Education*, *23*(7), 1427-1445. https://doi.org/10.1007/s11191-013-9640-3

Wade, N. J. (1997). Graven images. *Perception*, *26*, 123-126. https://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1068/p260123

Wade, N. J. (2004a). Philosophical instruments and toys: Optical devices extending the art of seeing. *Journal of the History of the Neurosciences*, *13*(1), 102-124. https://doi.org/10.1080/09647040490885538

Wade, N. J. (2004b). Toying with Science. *Perception*, *33*(9), 1025-1032. https://doi.org/10.1068/p3309ed

Wade, N. J. (2005). *Perception and Illusion: Historical Perspectives*. Springer Science. https://doi.org/10.1007/b99587

Wade, N. J. (2016). *Art and Illusionists* (vol. 1). Springer International Publishing.

Wade, N. J. (2018a). The age of illusions. *Psychologist*, *31*(2), 54-59.

Wade, N. J. (2018b). Pursuing Paradoxes Posed by the Waterfall Illusion. *Perception*, *47*(7), 689-693. https://doi.org/10.1177/0301006618774645

Wade, N. J. et Swanston, M. (2013). *Visual Perception: An introduction* (Third éd.). Psychology Press.

Wade, N. J., Todorovic, D., Phillips, D. et Lingelbach, B. (2017 [1855]). Johann Joseph Oppel (1855) on Geometrical–Optical Illusions: A Translation and Commentary. (May-June), 1-18. https://doi.org/10.1177/2041669517712724

Wade, N. J. et Verstraten, F. A. J. (1998). Introduction and historical overview. Dans G. Mather, F. A. J. Verstraten et S. Anstis (dir.), *The motion after-effect: A modern perspective* (p. 1-23). MIT Press.

Wagemans, J., van Lier, R. et Scholl, B. J. (2006). Introduction to Michotte's heritage in perception and cognition research. *Acta Psychologica*, *123*(1), 1-19. https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2006.06.003

Walk, R. D. et Homan, C. P. (1984). Emotion and dance in dynamic light displays. *Bulletin of the Psychonomic Society*, *22*(5), 437-440.

Wallace, A. R. (1889). *Darwinism: An Exposition of the Theory of Natural Selection, with Some of Its Applications* (Second éd.). Macmillan and Co.

Wallisch, P. (2021, August 10, 2021). *Visual Illusions and Optical Illusions Are Not the Same* Psychology Today. Récupéré le 21 décembre 2021 de https://www.psychologytoday.com/intl/blog/the-life-the-mind/202108/visual-illusions-and-optical-illusions-are-not-the-same

Walsh, V. et Gilford, C. (2000-2019). [Série télévisée]. *Dora the Explorer*. Nickelodeon Studios.

Walters, Kathy L. et Walk, Richard D. (1986). Perception of emotion from body posture. *Bulletin of the Psychonomic Society*, *24*(5), 329.

Wan, J. (réalis.). (2018). *Aquaman* [Film]. P. Safran et R. Cowan (prod.). Warner Bros. Pictures.

Wardrop, D. (2008). Ockham's Razor: sharpen or re-sheathe? *Journal of the Royal Society of Medicine*, *101*(2), 50-51. https://doi.org/10.1258/jrsm.2007.070416

Warhol, A. (réalis.). (1964). *Sleep* [Film]. (prod.).

Warrant, E. J. et Johnsen, S. (2013). Vision and the light environment. *Current Biology*, *23*(22), R990-R994. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960982213012608

Warren, R. (1976, Aug). The perception of egomotion. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *2*(3), 448-456. https://doi.org/10.1037//0096-1523.2.3.448

Watts, S. (2010). Essential Psychology: A Concise Introduction. Dans P. Banyard, M. N. O. Davies, C. Norman et B. Winder (dir.), *Essential Psychology: A Concise Introduction* (p. 23-42). SAGE Publications Ltd. https://doi.org/10.4135/9781446251461.n2.

Wautier, K., Jonckheere, A. et Segers, D. (2012). The Life and Work of Joseph Plateau: Father of Film and Discoverer of Surface Tension. *Physics in Perspective*, *14*(3), 258-278. https://doi.org/10.1007/s00016-012-0087-8

Waytz, A., Morewedge, C. K., Epley, N., Monteleone, G., Gao, J.-H. et Cacioppo, J. T. (2010). Making Sense by Making Sentient: Effectance Motivation Increases Anthropomorphism. *Journal of Personality and Social Psychology*, *99*(3), 410-435. https://doi.org/10.1037/a0020240

Weber, S., Johnsen, E., Kroken, R. A., Løberg, E.-M., Kandilarova, S., Stoyanov, D., Kompus, K. et Hugdahl, K. (2020). Dynamic Functional Connectivity Patterns in Schizophrenia and the Relationship With Hallucinations. *Frontiers in Psychiatry*, *11*, 1-19, Article 227. https://doi.org/10.3389/fpsyt.2020.00227

Webster, M. A. (2015). Visual Adaptation. *Annual Review of Vision Science*, *1*, 547-567. https://doi.org/10.1146/annurev-vision-082114-035509

Wedge, C. (réalis.). (2002). *Ice Age* [Film]. L. Forte (prod.). 20th Century Fox.

Weiss, Y. (1997). Smoothness in layers: Motion segmentation using nonparametric mixture estimation. (p. 520-526). Proceedings of IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, IEEE. https://doi.org/10.1109/CVPR.1997.609375

Weiss, Y. et Adelson, E. H. (2000). Adventures with gelatinous ellipses—constraints on models of human motion analysis. *Perception*, *29*(5), 543-566. https://doi.org/10.1068/p3032

Wells, P. (1998). *Understanding Animation*. Routledge.

Wells, P. (2008). *The Animated Bestiary: Animals, Cartoons, and Culture*. Rutgers University Press.

Wells, P. (2012). Where the rubber hits the road: The illusion of animation. *Animation Practice, Process & Production*, *1*(2), 197-207. https://doi.org/10.1386/ap3.1.2.197_2

Wertheimer, M. (1912). Experimentelle Studien Über das Sehen von Bewegung [Experimental studies of the seeing of motion]. *Zeitschrift für Psychologie*, *61*, 161-265. http://www.gestalttheory.net/download/Wertheimer1912_Sehen_von_Bewegung.pdf

Wertheimer, M. (2012). Prefatory Note. Dans L. Spillmann (dir.), *On Perceived Motion and Figural Organization* (p. vii). MIT Press.

Wertheimer, M. (2012 [1912]). Experimental Studies on Seeing Motion (K. W. Watkins et M. Wertheimer, trad.). Dans L. Spillmann (dir.), (p. 1-91). MIT Press.

Wetsman, A. et Marlowe, F. (1999). How Universal Are Preferences for Female Waist-to-Hip Ratios? Evidence from the Hadza of Tanzania. *Evolution and Human Behavior*, *20*(4), 219-228. https://doi.org/10.1016/S1090-5138(99)00007-0

Whitaker, H., Halas, J. et Sito, T. (2018 [2009]). *Timing for Animation* (Second éd.). Focal Press.

Whitaker, H., Halas, J. et Sito, T. (2021). *Timing for Animation 40th Anniversary Edition* (Third éd.). CRC Press.

White, P. A. (1988). Causal processing: Origins and development. *Psychological Bulletin*, *104*(1), 36-52. https://doi.org/10.1037/0033-2909.104.1.36

White, R. W. (1959). Motivation reconsidered: the concept of competence. *Psychological Review*, *66*(5), 297-333. https://doi.org/10.1037/h0040934

White, T. (2006). *Animation from Pencils to Pixels: Classical Techniques for the Digital Animator*. Elsevier Focal Press.

Wilcox, L. M., Allison, R. S., Helliker, J., Dunk, B. et Anthony, R. C. (2015). Evidence that Viewers Prefer Higher Frame-Rate Film. *ACM Transactions on Applied Perception (TAP)*, *12*(4), 1-12. https://doi.org/10.1145/2810039

Wilde, O. (1991 [1891]). The Picture of Dorian Gray. Dans *The Complete Illustrated Stories, Plays and Poems of Oscar Wilde* (Kindle Edition éd., p. 1-151). Chancellor Press.

Wilkinson, C., Mackenzie, S. et Smith, K. (2020). Faces of Merseyside: Exploring Cognitive Bias through Facial Averages. *Leonardo*, *53*(5), 498-503. https://doi.org/10.1162/leon_a_01747

Williams, D. R. et MacLeod, D. I. (1979). Interchangeable backgrounds for cone afterimages. *Vision Research*, *19*(8), 867-877. https://doi.org/10.1016/0042-6989(79)90020-8

Williams, R. (2001). *The Animator's Survival Kit - A manual of methods, principles and formulas for classical, computer, stop motion and internet animators*. Faber and Faber Inc.

Wilson, M. (2019). *This haunting short will change the way you look at guns*. Récupéré le 30 octobre 2019 de https://www.fastcompany.com/90418200/this-haunting-short-will-change-the-way-you-look-at-guns

Winer, G. A. et Cottrell, J. E. (1996). Does anything leave the eye when we see? Extramission beliefs of children and adults. *Current Directions in Psychological Science*, *5*(5), 137-142. https://www.jstor.org/stable/20182415

Winer, G. A., Cottrell, J. E., Gregg, V., Fournier, J. S. et Bica, L. A. (2002). Fundamentally misunderstanding visual perception: Adults' belief in visual emissions. *American Psychologist*, *57*(6-7), 417-424. https://link.springer.com/content/pdf/10.3758/BF03196199.pdf

Winthrop-Young, G. (2013). Afterword (J. D. O'Neill, trad.). Dans C. Wolfe (dir.), *A Foray into the Worlds of Animals and Humans: With a Theory of Meaning* (Google Books éd., vol. 12, p. 209-243). University of Minnesota Press.

Wolfe, J. M., Kluender, K. R., Levi, D. M., Herz, R. S., Bartoshuk, L. M., Klatzky, R. L., Lederman, S. J. et Merfeld, D. M. (2015). *Sensation & Perception, Fourth Edition - Companion Website*. Oxford University Press.

Wolfe, J. M., Kluender, K. R., Levi, D. M., Herz, R. S., M., B. L., Klatzky, R. L., Lederman, S. J. et Merfeld, D. M. (2014). *Sensation & Perception* (Fourth éd.). Oxford University Press.

Wolfe, J. M., Kluender, K. R., Levi, D. M., M., B. L., Herz, R. S., Klatzky, R. L., Lederman, S. J. et Merfeld, D. M. (2009). *Sensation & Perception* (Second éd.). Sinauer Associates Incorporated.

Wolfe, J. M., Kluender, K. R., Levi, D. M., M., B. L., Herz, R. S., Klatzky, R. L. et Merfeld, D. M. (2019). *Sensation & Perception* (International Fifth éd.). Oxford University Press.

Wolfe, J. M., Võ, M. L. H., Evans, K. K. et Greene, M. R. (2011). Visual search in scenes involves selective and nonselective pathways. *Trends in Cognitive Sciences*, *15*(2), 77-84. https://doi.org/10.1016/j.tics.2010.12.001

Woo, K. L. et Rieucau, G. (2011). From dummies to animations: a review of computer-animated stimuli used in animal behavior studies. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, *65*(9), 1671-1685. https://link.springer.com/article/10.1007/s00265-011-1226-y

Wood, S. E., Wood, E. G., Boyd, D. et Hétu, F. (2009a). *L'univers de la psychologie* (Traduction française de The World of Psychology (6 ed.) éd.). Éditions du renouveau pédagogique Inc. (ERPI).

Wood, S. E., Wood, E. G., Boyd, D. et Hétu, F. (2009b). *L'univers de la psychologie* (Traduction française de The World of Psychology (6 ed.) éd.). Éditions du renouveau pédagogique Inc. (ERPI).

Wood, S. E., Wood, E. G., Boyd, D., Wood, E. et Desmarais, S. (2011). *The World of Psychology* (Sixth Canadian Edition éd.). Pearson Education Inc.

Wyatt, R. (réalis.). (2011). *Rise of the Planet of the Apes* [Film]. P. Chernin, D. Clark, R. Jaffa et A. Silver (prod.). 20th Century Fox.

Wyeth, P. (2015). *The Matter of Vision: Affective Neurobiology & Cinema*. John Libbey Publishing Limited.

Yamada, Y., Kawabe, T. et Ihaya, K. (2013). Categorization difficulty is associated with negative evaluation in the "uncanny valley" phenomenon. *Japanese Psychological Research*, *55*(1), 20-32. https://doi.org/10.1111/j.1468-5884.2012.00538.x

Yarbus, A. L. (2013 [1967]). *Eye Movements and Vision* (Illustrated / ebook éd.; B. Haigh, trad.). Springer.

Yoonessi, A. et Yoonessi, A. (2011). Functional Assessment of Magno, Parvo and Konio-Cellular Pathways; Current State and Future Clinical Applications. *Journal of Ophthalmic & Vision Research*, *6*(2), 119-126. https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3306093/pdf/jovr-6-2-119.pdf

Young, T. (1802). On the Theory of Light and Colours. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*.

Young, T. (1807a). *A Course of Lectures on Natural Philosophy* (vol. 1).

Young, T. (1807b). *A Course of Lectures on Natural Philosophy and the Mechanical Arts* (2). Johnson, Joseph.

Yu, D. W. et Shepard, G. H. (1998). Is beauty in the eye of the beholder? *Nature*, *396*(6709), 321-322. https://doi.org/10.1038/24512

Zacks, J. M. (2013). Constructing Event Representations During Film Comprehension. Dans A. P. Shimamura (dir.), *Psychocinematics: Exploring Cognition at the Movies* (Kindle éd., p. 227-243). Oxford University Press.

Zacks, J. M. (2014). *Flicker: Your Brain on Movies*. Oxford University Press.

Zacks, J. M. et Swallow, K. M. (2007). Event Segmentation. *Current Directions in Psychological Science*, *16*(2), 80-84. https://doi.org/10.1111/j.1467-8721.2007.00480.x

Zago, M., McIntyre, J., Senot, P. et Lacquaniti, F. (2008). Internal models and prediction of visual gravitational motion. *Vision Research*, *48*(14), 1532-1538. https://doi.org/10.1016/j.visres.2008.04.005

Zajonc, R. B. (1968). Attitudinal effects of mere exposure. *Journal of Personality and Social Psychology*, *9*(2), 1-27. https://doi.org/10.1037/h0025848

Zebrowitz, L. A. et Rhodes, G. (2004). Sensitivity to "Bad Genes" and the Anomalous Face Overgeneralization Effect: Cue Validity, Cue Utilization, and Accuracy in Judging Intelligence and Health. *Nonverbal Behavior*, *28*(3), 167-185. https://doi.org/10.1023/B:JONB.0000039648.30935.1b

Zeki, S. (1991). Cerebral akinetopsia (visual motion blindness) a review. *Brain*, *114*(2), 811-824. https://doi.org/10.1093/brain/114.2.811

Zeki, S. (1992). The Visual Image in Mind and Brain. *Scientific American*, *267*(3), 68-76. https://doi.org/https://www.jstor.org/stable/24939214

Zeki, S. (1998a). Art and the Brain. *Daedalus*, *127*(2), 71-103. http://www.neurohumanitiestudies.eu/archivio/Daedalus.pdf

Zeki, S. (1998b). REVIEW: Parallel Processing, Asynchronous Perception, and a Distributed System of Consciousness in Vision *The Neuroscientist*, *4*(5), 365-372. https://doi.org/10.1177/107385849800400518

Zemeckis, R. (réalis.). (1988). *Who Framed Roger Rabbit* [Film]. F. Marshall et R. Watts (prod.). Buena Vista Pictures Distribution.

Zemeckis, R. (réalis.). (1994). *Forrest Gump* [Film]. W. Finerman, S. Tisch et S. Starkey (prod.). Paramount Pictures.

Zemeckis, R. (réalis.). (2005). *The Polar Express* [Film]. S. Starkey, R. Zemeckis, G. Goetzman et W. Teitler (prod.). Warner Home Video.

Zemeckis, R. (réalis.). (2008). *Beowulf* [Film]. S. Starkey, R. Zemeckis et J. Rapke (prod.). Paramount Home Entertainment.

Zlotowski, J. A., Sumioka, H., Nishio, S., Glas, D. F., Bartneck, C. et Ishiguro, H. (2015). Persistence of the uncanny valley: the influence of repeated interactions and a robot's attitude on its perception [Original Research]. *Frontiers in Psychology*, *6*(883), 1-12. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2015.00883

Zone, R. (2007). Stereoscopic cinema and the origins of 3-D film, 1838-1952. *University of Kentucky*.

ANNEXE A

Liste des vidéos

Le tableau suivant liste, par chapitre, les vidéos explicatives citées dans cette thèse, ainsi que leur URL. À moins que la source soit indiquée entre parenthèses, la vidéo a été réalisée par l'auteur. Pour voir l'ensemble des films qui ont été créés pour illustrer les phénomènes décrits dans cette thèse, veuillez consulter la liste d'écoute YouTube au lien suivant : https://youtube.com/playlist?list=PL1vuNtOaHr-PD3N2yQauYPIJCn9RgaC7D.

Chapitre	Titre	Lien
1	Les 12 principes d'animation d'Alan (Becker, 2017)	https://youtu.be/uDqjIdI4bF4
2	*Fine Feathers* (1968) d'Evelyn Lambart	https ://www.nfb.ca/film/fine_feathers/
2	Le mouvement l'emporte sur la forme à des vitesses rapides	https://youtu.be/IMe9weEBqJA
3	Thaumatrope (pot et fleurs)	https://youtu.be/ZfBfnf1pW6w
3	Illusion de la chute d'eau/*The Waterfall Illusion*	https://youtu.be/9k9UC1Ct9wc
3	Phénakistiscope	https://youtu.be/jtsqt_sU2sQ
3	Démonstration du phénomène de la déformation et d'immobilité décrit par Peter Mark Roget en 1825	https://youtu.be/yH1xfpF1sMc
3	Effet de la fréquence sur le papillotement : Hertz à 24 i/s	https://youtu.be/ObuQLCynRM0
4	Exner : l'illusion du grain fin (*the fine grain illusion*)	https://youtu.be/Dppjxs5oRzk
4	Wertheimer (1912) Succession, simultanéité et mouvement bêta	https://youtu.be/JGK7B8P7kp8
4	L'effet Phi (ϕ) à 30 i/s (*phi phenomenon at 30 fps*)	https://youtu.be/2wujosr6CGk
4	Le mouvement apparent de longue portée	https://youtu.be/kShI36NQzfU
4	Le problème de l'ouverture – exemple 1	https://youtu.be/HjGlvzBlFTc
4	Le problème de l'ouverture – exemple 2	https://youtu.be/2B47lYQFx0M
4	Ramachandran et Anstis : expérience nº 1 – Ligne droite	https://youtu.be/plWIlUly5Ak
4	Ramachandran et Anstis : expérience nº 2–le parcours le plus court	https://youtu.be/DqsAYEIg45o
4	Animation d'un boulet de canon	https://youtu.be/hEfROO29OsU
4	La perception des fréquences spatiales basses (forme/silhouette) l'emporte sur le contour	https://youtu.be/E4xTg1NTcxI
4	L'effet d'entrainement	https://youtu.be/4GG83jLRqb4
4	Occlusion et le mouvement apparent de longue portée	https://youtu.be/OOxjAVuE9Q0
4	Ramachandran et Anstis : expérience nº 3–la permanence des choses	https://youtu.be/qmex22Tpf7k
4	Ramachandran et Anstis : expérience nº 4 – occlusion	https://youtu.be/FoloMkRqYHw
5	Ovnis – la distance et le mouvement apparent	https://youtu.be/GG-o_xLclcc
5	Trois types de mouvement apparent (long, court et ambigu)	https://youtu.be/bl9ftaKfVg0
5	Comparaison de la cadence d'image d'un objet en mouvement (60i/s, 30i/s, 24i/s et 12i/s)	https://youtu.be/c0-PINfiXNc
5	The History of Frame Rate for Film (Filmmaker IQ, 2015)	https://youtu.be/mjYjFEp9Yx0
5	Cadence, vitesse et la fluidité du mouvement apparent	https://youtu.be/nH4_MMndb78

Chapitre	Titre	Lien
5	La compression et l'étirement (pendule)	https://youtu.be/i_B2AJqnciI
5	Le Mouvement image par image - 1re partie (McLaren, N. et Munro, 1976a)	https://www.nfb.ca/film/mouvement_image_par_image_1/
5	Le Mouvement image par image - 2e partie (McLaren, N. et Munro, 1976b)	https://www.nfb.ca/film/mouvement_image_par_image_2/
5	Le Mouvement image par image - 3e partie (McLaren, N. et Munro, 1976c)	https://www.nfb.ca/film/mouvement_image_par_image_3/
5	Le Mouvement image par image - 4e partie (McLaren, N. et Munro, 1977)	https://www.nfb.ca/film/mouvement_image_par_image_4/
5	Le Mouvement image par image - 5e partie (McLaren, N. et Munro, 1978)	https://www.nfb.ca/film/mouvement_image_par_image_5/
5	La compression et l'étirement (exemple dynamique)	https://youtu.be/rTtQQtnZv44
5	La compression et l'étirement (deux positions)	https://youtu.be/p_WrbuwAICU
5	Le mouvement apparent et les lignes de vitesse (de longue à courte portée)	https://youtu.be/-JOlwQJ-88U
5	Goutte d'eau filmée à une cadence élevée (HFR)	https://youtu.be/Ch1MP5E2qSg
5	Lapin – déformation arquée	https://youtu.be/RvRxCLGsUZ4
5	Mouvement induit : l'illusion du train	https://youtu.be/QhmdmYGoDk8
5	Mouvement induit : l'illusion de la lune (*moon illusion*)	https://youtu.be/lYkxgv6nHjA
5	Le mouvement induit et le cycle de marche	https://youtu.be/otNTXx_THQ4
5	Les mouvements apparents, le montage et les mouvements de caméra	https://youtu.be/eL4gZXbeSm0
6	Mouvement animé et inanimé	https://youtu.be/LUlY3cQ6wlM
6	*The Heider-Simmel Illusion* (Heider et Simmel, 1944b)	https://youtu.be/8FIEZXMUM2I
6	Mouvement biologique et un bris de la contrainte des articulations	https://youtu.be/MijEwlLN8go
6	*Foot slip*	https://youtu.be/63cSThWDycQ
7	Séquentialité	https://youtu.be/e7itqtm5e_0