

Chapitre 4

La difficulté du point de vue du joueur

Sommaire

4.1	Approche expérimentale	2
4.1.1	Challenge, curiosité et fantaisie	2
4.1.2	Hard Fun et Easy Fun	5
4.1.3	Autodétermination	5
4.1.4	Choix et compétition	7
4.1.5	Playground et Pacman	7
4.1.6	Difficulté et premiers instants de jeu	10
4.1.7	Synthèse	10
4.2	Approche théorique	11
4.2.1	Renforcement, regret et dissonance cognitive	12
4.2.2	L'attribution causale	15
4.2.3	Sentiment d'efficacité personnelle	17
4.2.4	L'expérience optimale	19
4.2.5	Difficulté et émotions	22
4.3	Synthèse	23

Jusqu'ici, nous avons étudié la difficulté par une approche théorique du jeu vidéo et de sa conception. Ce chapitre propose d'étudier la difficulté non plus avec un regard centré sur le jeu, mais tourné vers le joueur. Comme l'expliquent Katie Salen et Eric Zimmerman, le jeu doit être vu dans une perspective esthétique [Salen 03]. Esthétique, du latin *aesthetica*, sentir, est défini par le Larousse comme « *Qui a rapport au sentiment du beau, à sa perception.* » D'un point de vue général, l'objectif d'un jeu réside dans la gamme d'émotions qu'il nous fait ressentir, que Salen et Zimmerman rattachent au sentiment du beau.

Plusieurs auteurs ont cherché à déterminer, d'une manière générale, l'origine du plaisir d'un joueur. Certains se sont attachés à découvrir les propriétés des jeux les plus attirants et nous chercherons le lien entre ces propriétés et la difficulté. D'autres études se consacrent plus spécifiquement à comprendre de quelle manière le jeu provoque des émotions et nous chercherons à savoir en quoi la difficulté intervient dans ce mécanisme. Cette partie de notre état de l'art doit nous permettre de motiver plus profondément notre recherche, en soulignant le rôle de la difficulté vis à vis de l'expérience du joueur, mais également nous renseigner plus précisément sur la manière d'exploiter la difficulté, et donc par exemple sur certaines propriétés de bonne formation des courbes de difficulté.

4.1 Approche expérimentale

De nombreux auteurs ont cherché à comprendre le caractère particulièrement attrayant du jeu vidéo, et ce depuis le *Pacman* (Namco) des années 1980. Cette section présente différentes études empiriques réalisées dans ce but, ainsi que les modèles théoriques qui les motivent, et examine plus particulièrement les résultats obtenus sous l'angle de la relation entre difficulté et plaisir de jouer.

4.1.1 Challenge, curiosité et fantaisie

En 1980, Thomas Malone réalise une des premières études du plaisir suscité par les jeux vidéo. Le modèle proposé par Thomas Malone distingue trois dimensions principales qu'un système de jeu doit optimiser pour être le plus attirant possible : le *challenge*¹, la *curiosité* et la *fantaisie* [Malone 80b, Malone 82]. Le challenge concerne la probabilité de réussite : « *Pour être stimulant, un jeu doit proposer un but que le joueur n'est pas certain d'atteindre* », la curiosité concerne la complexité du jeu « *Un jeu vidéo peut susciter la curiosité du joueur en fournissant un environnement avec une complexité informationnelle optimale.* » et la fantaisie concerne les représentations qu'utilise l'univers du jeu : « *Un jeu sans fantaisie n'utilise que des symboles abstraits.* ». Malone distingue plus précisément la curiosité sensitive et la curiosité cognitive. La curiosité sensitive est satisfaite par la richesse en effets visuels et sonores d'un jeu vidéo. La curiosité cognitive suppose que le joueur a pour objectif d'obtenir une connaissance toujours plus complète, consistante et parcimonieuse du jeu auquel il est confronté. La curiosité sensitive est à rapprocher de la fantaisie : la première implique une variété et une originalité de représentations, la seconde juge de leur niveau d'abstraction. Parmi toutes ces dimensions, le challenge et la curiosité cognitive sont liés à notre sujet d'étude, la difficulté.

1. Nous avons gardé ici le mot challenge, qui a de nombreuses traductions en français : quelque chose de difficile, défi, stimulation. Mais par la suite nous traduirons « *challenging* » par stimulant.

Thomas Malone explique que le niveau de challenge est correct si un jeu permet au joueur de se confronter au bon niveau de difficulté, c'est à dire si le jeu fournit suffisamment de buts pour que chaque joueur trouve un challenge à sa hauteur. L'auteur propose plusieurs aspect d'un jeu à optimiser pour proposer un challenge adapté, comme par exemple utiliser des variables aléatoires ou cacher de l'information, ce qui nous ramène directement à nos dimensions de difficulté (section ??).

La dimension *curiosité cognitive* est issue de la complexité informationnelle, (i.e. pour nous des complexités sensorielles et logiques) du jeu. Malone précise que « *Le challenge correspond à ce qu'un joueur peut faire, la curiosité à ce qu'un joueur peut comprendre.* ». La curiosité cognitive offre au joueur un plaisir apparemment déconnecté de sa progression vers l'objectif : le simple fait de comprendre, de découvrir un schéma récurrent et maîtrisable du comportement de l'univers de jeu est gratifiant. Ce plaisir sera d'autant plus présent et renouvelé que l'univers de jeu sera riche et offrira de nombreuses voies à explorer.

La curiosité cognitive peut donc être vue comme le plaisir de la découverte d'un nouveau comportement pourvu de sens de l'univers du jeu. Le challenge, quant à lui, correspond au plaisir lié à la confirmation de la valeur des connaissances du joueur et de sa maîtrise du jeu, vis à vis d'un objectif donné. Un joueur attiré par le challenge cherchera avant tout à gagner et utilisera la meilleure stratégie, le joueur curieux sera attiré par l'originalité de la solution, par les informations qu'elle apporte.

Il est primordial de noter ici que le challenge et la curiosité cognitive sont des plaisirs du joueur qui se nourrissent de traits structurels commun : la recherche d'une connaissance toujours plus complète de l'univers du jeu est liée aux complexités logiques et sensorielles. Pour pouvoir faire, le joueur est obligé de comprendre.

Dans l'ensemble des études qui vont suivre, il sera donc nécessaire de ne pas faire l'amalgame immédiat entre complexité et challenge, mais de considérer que la complexité de l'univers jeu détermine à la fois le niveau de challenge et la curiosité cognitive du joueur.

Thomas Malone a étudié l'importance relative de ces trois dimensions grâce à plusieurs expériences conduites sur des élèves d'école élémentaire et du secondaire. Une première étude a consisté à recueillir les préférences de 65 élèves au sujet de différents jeux vidéo [Malone 80a]. Cette étude montre que la clarté du but du joueur est un élément fondamental, suivi par la présence d'un score, d'effets audio et de variables aléatoires. La clarté des objectifs est en effet une condition primordiale de l'existence même du jeu, comme nous l'avons vu précédemment (section ??). Le plaisir lié aux effets audio correspond à première vue aux dimensions de curiosité sensitive ainsi qu'à la fantaisie, et ne nous renseigne pas sur le lien entre difficulté et plaisir. On peut toute fois supposer que l'importance des effets audio tient également dans leur capacité à appuyer l'évolution du gameplay, en permettant par exemple de rendre plus évidents les objectifs du joueur. Le score et les variables aléatoires sont par contre directement révélateurs de l'importance de la difficulté, dans son impact sur le challenge et la curiosité.

Le score évalue plus finement la performance du joueur qu'une simple condition d'échec ou de réussite. Il permet, comme le note Malone, de créer des méta-buts (atteindre un score particulier décidé par le joueur) d'une difficulté choisie et concerne le plaisir lié au challenge. Cependant, le score offre également la possibilité d'évaluer plus précisément l'impact des actions du joueur et joue ainsi directement sur la complexité logique en guidant le joueur.

Les variables aléatoires, obscurcissent les conséquences des actions et augmentent directement la difficulté du jeu. Elles augmentent à la fois la difficulté et la curiosité : il devient plus difficile de mettre au point un comportement efficace et donc le challenge augmente, et le jeu apparaît comme plus riche car un plus grand nombre de comportements sont envisageables, puisque plus difficilement évaluables.

Cette première étude montre que challenge et la curiosité cognitive, et donc la complexité, sont des critères primordiaux. Le challenge semble particulièrement important, puisque la présence d'un but clair et d'un score montre que ces joueurs cherchent un cadre d'évaluation et ne se satisfont pas de la libre exploration d'un univers.

On peut noter que cette étude a l'avantage d'être facilement généralisable. En effet, Malone travaille ici sur une liste de jeux proposant différents gameplay, et ses conclusions s'étendent facilement à divers jeux vidéo du paysage vidéo-ludique des années 1980 destinés à de jeunes enfants.

Une autre étude, menée sur 80 élèves de classe élémentaire, montre l'impact important que la fantaisie peut avoir sur les préférences des élèves et souligne le fait que cette fantaisie doit correspondre au joueur ciblé, ayant eu un effet opposé sur les filles et les garçons dans cette expérience [Malone 82]. L'ajout d'un feedback constructif, c'est à dire le fait d'avoir donné au joueur plus de précisions sur le résultat de ses actions et donc diminué la difficulté, n'a eu d'impact que pour les garçons. Les résultats de cette expérience sont plus difficilement généralisables car effectués pour un gameplay bien particulier et pour une durée de jeu assez courte.

Cet étude souligne par contre une piste intéressante et confirmée dans des études postérieures : **sur un durée de jeu courte, le challenge et la curiosité cognitive, et donc la difficulté ne semblent pas des critères de plaisir primordiaux.** La difficulté ne semble donc pas être un paramètre de motivation à court terme.

Globalement, les études menées par Thomas Malone montrent que la difficulté dans son impact sur le challenge et la curiosité cognitive semble jouer un rôle important dans l'appréciation de certains jeux vidéo, mais au côté d'autres variables comme par exemple la présence de représentations non abstraites. Son travail théorique place la difficulté en bonne place parmi les facteurs déterminant du plaisir du joueur.

4.1.2 Hard Fun et Easy Fun

D'autres auteurs ont proposé de comprendre le plaisir du joueur. Nicole Lazzaro présente une étude réalisée sur trente joueurs, dont elle extrait quatre composantes du plaisir de jouer² : *hard fun*, *easy fun*, *Etat Altéré* et *Aspect Social* [Lazzaro 04]. Le hard fun représente les émotions liées au plaisir d'avoir atteint un objectif, surmonté des difficultés. L'easy fun correspond au plaisir de comprendre un univers, d'en découvrir le contenu, indépendamment de la réussite du joueur et des critères d'évaluation propres au jeu. Un joueur attiré par l'easy fun pourra explorer un jeu en utilisant un guide lui fournissant certaines solutions, par exemple. La dimension Etat Altéré concerne les joueurs qui « *jouent pour passer d'un état mental à un autre, penser ou ressentir quelque chose de différent* ». Cette dimension ne semble pas, selon nous, décrire d'où proviennent les émotions du joueur mais décrit le fait qu'un joueur joue pour ressentir une émotion, ce qu'expriment par exemple Salen et Zimmerman en expliquant qu'un jeu doit être vu dans une perspective esthétique. La dimension Aspect Social correspond au fait que le jeu peut être un outil social, et qu'une partie des émotions ressenties par le joueur provient de sa relation directe avec les autres joueurs, en dehors du système de jeu, mais facilitées par ce dernier. Les relations sociales dans les jeux sont particulièrement intéressantes, mais sortent de notre champ d'analyse, restreint au rapport d'un joueur avec un système de jeu.

Les dimensions hard fun et easy fun de Nicole Lazzaro semblent donc identiques aux dimensions de challenge et de curiosité de Thomas Malone, et sont donc également conditionnées par la difficulté. Le fait de qualifier la seconde dimension de fun *facile* traduit bien le fait qu'il est détaché de la mesure immédiate de l'efficacité du joueur et de la pression, de l'effort qu'elle suppose. L'easy fun, ou la curiosité, est une recherche, un parcours du contenu du jeu, le hard fun consiste à se soumettre directement à l'évaluation du gameplay. Les deux autres dimensions que propose Nicole Lazzaro sont pertinentes mais détachées de la difficulté. Sa modélisation, basée sur un travail empirique, confirme la catégorisation proposée par Malone et souligne à nouveau l'importance de la difficulté tout en nous rappelant qu'elle n'est pas l'unique source de plaisir.

4.1.3 Autodétermination

Richard Ryan et al proposent d'expliquer la motivation du joueur à partir de leur théorie de l'autodétermination [Ryan 06]. Plus spécifiquement, ces auteurs considèrent que les jeux vidéo satisfont des besoins psychologiques et permettent le développement d'un sentiment d'*autonomie*, de *compétence* et de *connexion*³.

2. Les dimensions de Lazzaro ne sont pas toutes traduites de l'anglais, les traductions *Fun Difficile* et *Fun Facile* nuisant à la clarté d'un propos déjà centré sur la difficulté.

3. Nous avons traduit relatedness par connexion.

L'autonomie décrit à la fois le fait que l'investissement du joueur est volontaire, qu'il entreprend de jouer uniquement pour la valeur intrinsèque de la tâche, et non du fait d'une pression ou d'une récompense extrinsèque (son autonomie dans le monde réel) mais également qu'il jouit d'une autonomie au sein même du jeu. L'autonomie dans le monde réel est tout à fait cohérente avec les définitions du jeu étudiées dans la première section. La liberté de choisir de jouer ou non est une caractéristique même du jeu. Dans le monde virtuel, l'autonomie du joueur peut être rapprochée de la curiosité chez Malone, dans le sens où le joueur jouit d'autonomie, de liberté, lorsqu'il lui est possible d'adopter un comportement original. C'est lorsqu'il va explorer et évaluer la profondeur de l'univers que le joueur se sentira autonome et pourra satisfaire sa curiosité. La curiosité correspond au plaisir de découvrir des possibilités, l'autonomie au pouvoir de choisir librement parmi ces possibilités. Mais ces deux niveaux d'interprétations sont tous les deux conditionnés par la richesse de l'univers.

Le sentiment de compétence est ressenti lorsque le joueur est confronté à un niveau optimal de challenge, acquiert de nouvelles compétences et reçoit une confirmation positive de ses progrès dans le jeu. Ryan et al considèrent que cette dimension est une des plus importantes : « *En effet, nous supposons que la compétence perçue est une des plus grandes satisfactions que procurent les jeux, car ces derniers représentent des univers où l'on peut éprouver un sentiment de contrôle et d'accomplissement.* » Cette dimension correspond au challenge, à l'évaluation de l'efficacité du joueur.

Le sentiment de connexion correspond au plaisir social de joueur, et n'entretient pas pour nous un rapport direct avec la difficulté du jeu.

Ryan et al ont réalisé quatre études successives décrites dans cette même publication [Ryan 06], pour vérifier à quel point leur modélisation permet de prédire effectivement le plaisir des joueurs. Les trois premières études concernent des jeux de Nintendo 64 et étudient le plaisir et la motivation des joueurs au travers de questionnaire administrés avant après une période de jeu. La première étude analyse les réponses des joueurs face à un seul jeu, *Mario 64 (Nintendo)*. La seconde étude utilise deux jeux, choisis pour leurs évaluations, respectivement très bonne et plus mauvaise : *Zelda : Ocarina of time (Nintendo)* et *A bug's life (Sony)*. La troisième étude utilise quatre jeux tous bien notés, *Super Mario 64 (Nintendo)*, *Super Smash Brothers (Nintendo)*, *Star fox 64 (Nintendo)* et *San Francisco Rush (Midway Games)*. Le plus grand nombre de jeux de cette étude permet aux auteurs d'étudier autant les différences inter-individuelles qu'intra-individuelles. La dernière étude porte sur un jeu massivement multijoueurs.

Toutes ces études montrent que les variables d'autonomie et de compétence permettent de prédire le plaisir du joueur. La dernière étude est la seule à utiliser un jeu multijoueurs, et montre, en plus de l'autonomie et de la compétence, l'impact de la dimension connexion sur le plaisir de jouer. Ces études sont basées sur des questionnaires, et les variables mesurées correspondent aux ressentis des joueurs. Toutes ces études permettent de supposer que les

niveaux de compétence et d'autonomie ressentis sont des prédicteurs de leur plaisir, ce qui souligne encore une fois l'importance à attacher à la gestion de la difficulté.

4.1.4 Choix et compétition

Vorderer et al [Vorderer 03] analysent également le plaisir lié aux jeux vidéo, et identifient comme dimensions principales de ce plaisir le nombre de possibilités offertes au joueur ainsi que la présence d'éléments compétitif. Ils considèrent qu'un jeu qui offre de nombreuses possibilités d'action génère plus d'intérêt qu'avec un nombre d'actions plus limités, ce qui nous ramène à la dimension de curiosité de Malone par exemple, et l'élément compétitif correspond au challenge, au fait d'avoir à un objectif identifié à atteindre.

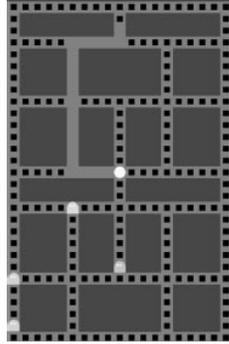
Leur première expérience consiste à proposer à des joueurs plusieurs situations imaginaires d'un jeu vidéo célèbre, *Tomb Raider (Eidos Interactive - Core Design)*. Chaque situation propose un nombre donné de possibilité d'action (le nombre d'armes du joueur) et présente ou non un élément compétitif (un monstre qui attaque le joueur). A partir d'un questionnaire auquel on répond 349 acheteurs du jeu, Vorderer et al confirment que l'élément compétitif et le nombre d'actions possibles sont considérés par les joueurs comme sources de plaisir et confirment les hypothèses développées jusqu'ici.

La suite de l'étude concerne la prise en compte du profil social des joueurs. Certains joueur sont par natures coopératifs, individualistes ou compétitifs, et leur manière d'aborder un jeu multijoueurs (ou contre d'autres joueurs incarnés par des IA, mais identifiables comme des adversaires) dépend de ce profil. Une seconde expérience, réalisée à partir d'un questionnaire en ligne, montre que le profil social des joueurs influence en partie le type de jeux auxquels ils jouent. Cette expérience rappelle que le plaisir du joueur dépend également de constructions psychologiques complexes issues de sa propre expérience, et que si la difficulté mérite d'être étudiée comme paramètre important du plaisir du joueur, c'est un paramètre bas niveau et en aucun cas un prédicteur total, parfait du plaisir du joueur.

4.1.5 Playground et Pacman

Le travail de Thomas Malone a servi de base aux expérimentations de Georgios Yannakakis et al, dont la direction de recherche consiste à explorer des techniques pour maximiser le plaisir du joueur. Yannakakis et al étudient l'impact des règles du jeu sur le plaisir du joueur, dans le cadre de deux univers ludiques différents : une version allégée du célèbre *pacman* de Namco, et un espace de jeu interactif, *Playground* (Figure 4.1).

Yannakakis et al ont réalisé de nombreuses expériences à partir de ces deux univers [Yannakakis 06], [Yannakakis 07c], [Yannakakis 07b], [Yannakakis 07a], [Yannakakis 09] et ont étudié à quel point la manipulation des dimensions proposées par Thomas Malone (challenge, curiosité et fantaisie) permettent d'influer sur le plaisir du joueur. Nous reprenons ici



Pacman par [Yannakakis 07c]



Playground par [Yannakakis 09]

FIGURE 4.1 – Univers ludiques de Yannakakis et al

les expériences les plus récentes et les plus démonstratives.

Playground est un système de jeu composé de plaques de plastiques interactives, équipées de diodes électroluminescentes, de capteurs de pression et d'un micro contrôleur capable de contrôler l'affichage des LEDs en fonction d'un gameplay pré-programmé. Les joueurs visés par ce système sont des enfants d'une dizaine d'années. Pour réaliser leurs expériences, Yannakakis et al ont mis au point un jeu adapté au Playground, *Bugsmasher*. Dans *Bugsmasher*, les joueurs sont invités à écraser des insectes, symbolisés par l'allumage des LEDs d'une plaque de Playground. Les joueurs écrasent un insecte en marchant sur la plaque allumée. Les auteurs manipulent les dimensions de Malone au travers du temps d'apparition d'un insecte (S), de la variabilité de la position d'apparition d'un insecte (H), et de la variabilité des sons et couleurs de LED utilisées (F). Ces trois paramètres correspondent selon les auteurs aux trois dimensions de Malone. Le protocole expérimental de Yannakakis et al consiste à faire jouer différentes version de *Bugsmasher* à un groupe d'enfants, et à recueillir la préférence de chaque sujet pour l'un ou l'autre des jeux d'une paire donnée.

Plusieurs expériences, réalisées entre 2006 et 2009 fournissent des résultats intéressants vis à vis de l'impact de la difficulté sur le plaisir du joueur, au cours desquels les joueurs jouent consécutivement à deux gameplay, et doivent choisir celui qui leur plaît le plus. Une première expérience montre que parmi les trois dimensions de Malone, seule les variations de F (fantaisie) corrélient de manière significative avec les choix des joueurs [Yannakakis 06]. S et H, dimensions liées a la difficulté, ne suivent pas le choix des joueurs de manière significative. D'autres expériences confirment ces résultats. En 2007, Yannakakis et al construisent un réseau de neurone déterminant le choix d'un joueur à partir de S et H [Yannakakis 07b]. La meilleure fiabilité obtenue n'est que de 66.6%. Les auteurs concluent que les dimensions S et H ne prennent pas en suffisamment en compte les spécificités de chaque joueur ce qui diminue d'autant leur pouvoir de prédiction. En effet, S et H traduisent la difficulté absolue du jeu, par rapport à un joueur de référence, mais la difficulté ressentie par chaque joueur

dépend de son propre niveau. Dans une expérience ultérieure, Yannakakis et al déterminent que le plaisir des joueurs est corrélé avec leur temps de réponse, le nombre d'interactions et la pression exercée [Yannakakis 07a]. Ces variables sont bien plus significatives, car elles mesurent directement l'implication du joueur. Par contre, elles ne sont pas directement et uniquement images de la difficulté du jeu : le temps de réponse d'un joueur, par exemple, peut tout à fait être très élevé si le jeu lui plaît, indépendamment du temps de réponse minimal imposé par le game design (S). Le temps de réponse du joueur est une variable qui ne prend pas en compte l'objectif du jeu, mais mesure uniquement le comportement du joueur. Par contre, une autre variable mesurée par Yannakakis et al, le score du joueur, est un indicateur plus précis de la difficulté relative du jeu car il évalue le comportement du joueur en fonction de l'objectif du jeu. Cette dernière expérience montre que le score du joueur ne corréle pas linéairement de manière significative avec les préférences des joueurs, et est évalué comme la dimension la moins utile lors de la construction d'un réseau de neurones capable de prédire les préférences des joueurs.

Globalement, cette première série d'expériences montre que dans le cadre de bugsmasher, **une mesure moyenne de la difficulté absolue ne permet pas de prédire les préférences du joueur et qu'il n'existe pas de relation linéaire forte entre la difficulté relative moyenne et les préférences du joueur.**

Yannakakis et al réalisent parallèlement des expériences sur une version allégée de Pacman. Dans ce jeu, le joueur contrôle un avatar (Pacman) et doit ramasser des pastilles disséminées dans un labyrinthe. Quatre fantômes sont chargés de l'en empêcher, et le joueur perd une vie s'il se fait attraper. Les fantômes du Pacman de Yannakakis et al sont construits de manière à créer un intérêt de jeu I , calculé à d'une formule combinant : 1) l'écart entre la durée moyenne d'une partie et la partie la plus longue, 2) la variance de la durée des parties et 3) la diversité spatiale du comportement des fantômes [Yannakakis 07c]. Yannakakis et al attribuent le premier paramètre de leur formule au niveau de difficulté du jeu. Plus précisément, nous considérons que cette dimension, qui mesure l'écart entre la durée moyenne d'une partie et la partie la plus longue, correspond à la *variation* du niveau de difficulté. Le temps de jeu du joueur et en effet une bonne mesure de la difficulté du jeu, qui prend en compte son effort en fonction de l'objectif du jeu, et les deux premières dimensions de I sont une mesure de la variation de cette difficulté.

En 2007, Yannakakis et al montrent que le calcul de l'intérêt des joueurs corréle de manière significative avec leurs préférences, recueillies lors de l'expérimentation [Yannakakis 07c]. De plus, cette expérience montre que la performance moyenne des fantômes, calculée en fonction du temps de jeu moyen et du nombre de vies perdues, ne corréle pas avec les préférences recueillies. Au cours d'une autre expérience, Yannakakis et al construisent un réseau de neurones capable de prévoir les préférences des joueurs à 99.8%, à partir de la moyenne et de la variance de la durée des parties [Yannakakis 07b]. Ces résultats sont cohérents avec les expériences précédentes : la difficulté relative moyenne (performance des fantômes) ne per-

met pas de prédire les préférences du joueur. Par contre, ces expériences montrent que les variations de difficulté, dans le cadre de Pac-Man, ont un impact prévisible sur les préférences des joueurs.

Les expériences de Yannakakis et al sont révélatrices et pointent une piste intéressante concernant l'impact de la difficulté sur le plaisir des joueurs. Ce dernier ne semble pas entretenir de relation forte avec la mesure absolue de la difficulté, ni de relation linéaire avec une mesure relative de difficulté, mais **la variation de la difficulté dans le temps paraît avoir un impact déterminant sur le plaisir du joueur.**

4.1.6 Difficulté et premiers instants de jeu

Une étude menée par Klimmt et al [Klimmt 09] montre que la difficulté est un paramètre important de l'expérience du joueur mais que les joueurs ne recherchent pas forcément directement un challenge approprié. Dans leur étude, les sujets sont invités à jouer pendant dix minutes au **First Person Shooter**⁴ *Ureal Tournament 2 (Epic Games)*, et répartis sur trois niveaux de difficulté. Les résultats montrent une préférence des joueurs pour le niveau le plus facile, avec une difficulté quasiment inexistante. Cependant, et les auteurs en conviennent, la faible durée de l'expérience ne permet qu'une étude de la prise de contact des joueurs avec le jeu, et cette étude montre que si le niveau de challenge doit être adapté au cours de l'expérience ludique, **lors des toutes premières phases de jeu, les joueurs ont tendance à préférer un niveau de challenge très bas.** Cette interprétation est cohérente avec l'expérience réalisée par Thomas Malone et présentée en début de section.

4.1.7 Synthèse

L'ensemble des recherches présentées précédemment sont avant tout empiriques et permettent de constater un certain nombre de faits sur le rapport de la difficulté avec le plaisir du joueur. Ces expériences confirment en partie les modèles proposés par leurs auteurs, qui tentent d'identifier les caractéristiques primordiales d'une expérience de jeu. D'un point de vue synthétique, nous pouvons reprendre les caractéristiques pertinentes du point de vue de la difficulté, et récapituler leur relations avec les dimensions de complexité des premières sections (Figure 4.2).

4. First Person Shooter, jeu de tir en vue subjective.

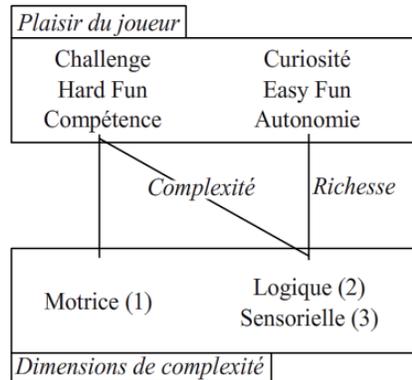


FIGURE 4.2 – Lien entre plaisir du joueur et dimensions de complexité.

La première dimension de complexité, les contraintes purement motrices d'exécution d'une action, n'influence que la difficulté du jeu et correspond uniquement au challenge de Malone et Yannakakis et al, hard fun de Nicole Lazzaro et à la compétence de Ryan et al. Les deux dernières dimensions de complexité permettent d'influer à la fois sur le challenge et sur le plaisir d'exploration : la curiosité de Malone et Yannakakis et al, l'easy fun de Lazzaro et l'autonomie de Ryan et al, selon qu'on les considère comme une source de richesse et de possibilités d'exploration ou comme un obstacle dans le parcours du joueur vers son objectif.

Ces différentes études font ressortir différentes particularités de l'impact de la difficulté sur la plaisir du joueur. Tout d'abord, la difficulté absolue moyenne ne semble pas être un bon indicateur du plaisir du joueur, mais les variations de difficulté semblent plus intéressantes. Ensuite, les plaisirs liés à la complexité du jeu, challenge et curiosité cognitive, semblent absents des toutes premières phases de jeu et demander un certain temps à s'installer.

Une fois en tête les résultats empiriques les plus récents et les théories de leurs auteurs, une interprétation théorique plus large est possible. Nous proposons, dans les sections suivantes, d'étudier plusieurs théories psychologiques plus générales qui permettent de fournir des explications plausibles du rôle de la difficulté dans le plaisir du joueur, et montrent que les résultats observés précédemment, dans le contexte précis de la difficulté, s'inscrivent dans un cadre théorique général.

4.2 Approche théorique

La section précédente présente une approche expérimentale du rapport entre plaisir du joueur et difficulté. Ces études peuvent être complétées d'une approche plus théorique, en s'intéressant notamment au lien entre les jeux vidéo et différents modèles en psychologie cognitive. Notre objectif principal concerne la difficulté, aussi cette section n'a pas pour but

de recenser de manière exhaustive l'ensemble des théories voués à expliquer le plaisir du joueur, mais se concentre sur les études et théories capables d'apporter des précisions sur le rôle de la difficulté vis à vis de ce plaisir.

4.2.1 Renforcement, regret et dissonance cognitive

En 1983, Geoffrey Loftus et Elizabeth Loftus réalisent une étude approfondie de l'attrait des joueurs pour les jeux vidéos [Loftus 83]. Tout d'abord, les auteurs tracent un parallèle entre le plaisir de joueur et le conditionnement ou renforcement, étudié par exemple au moyen des célèbres boîtes de Skinner (Figure 4.3). Dans une telle boîte, un rat peut agir sur le système au moyen d'un levier. S'il presse le levier après une certaine séquence visuelle et sonore (e.g. son aigu et lumière verte) alors le distributeur de nourriture fournit la récompense. Dans le cas contraire, la grille électrifiée se charge de punir le rat. L'expérimentateur peut alors étudier quel programme de renforcement permet d'obtenir le meilleur conditionnement du rat.

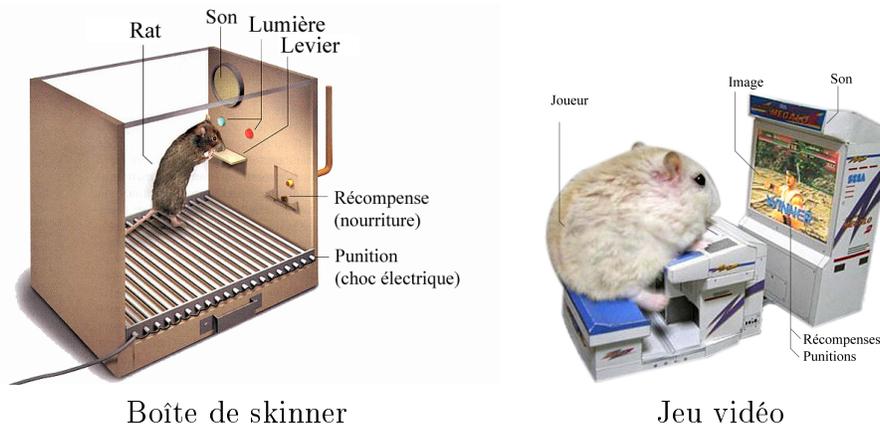


FIGURE 4.3 – Boîte de skinner et jeu vidéo

Les auteurs tracent un parallèle entre ce principe de renforcement et un joueur placé devant une borne d'arcade. Le joueur est récompensé par un score excellent ou des parties gratuites, et punit lorsqu'il perd et doit payer pour jouer à nouveau. Le parallèle devient intéressant à partir du moment où l'on insiste sur les différents programmes de renforcement. Les auteurs rappellent que si le renforcement est continu, c'est à dire si le rat gagne à tous les coups, alors il arrêtera très vite d'essayer si jamais il échoue. Bien sur, si le rat est punit en permanence, il s'arrêtera aussi rapidement ses essais. Par contre, si dès le départ, les récompenses sont distribuées par intermittence (renforcement partiel), alors le rat continuera à jouer malgré les échecs. Il n'a pas été habitué à gagner trop souvent, l'échec fait partie du jeu et il le supporte dans l'attente d'une récompense.

Le parallèle avec la difficulté d'un jeu vidéo est alors intéressant. Un très faible niveau de difficulté découragera le joueur au moindre échec, un niveau de difficulté trop important le découragera directement, mais un niveau de difficulté adapté, où gains et pertes s'enchaînent, aboutira au meilleur conditionnement. Cette idée appuie les résultats expérimentaux de la partie précédente : nous avons vu que le plaisir du joueur était corrélé au taux de variation de la difficulté. Une manière de distribuer les renforcements de manière intermittente est évidemment de faire varier la difficulté du jeu tout au long de l'expérience du joueur.

Observé sous le prisme du renforcement, le jeu montre aussi une autre particularité intéressante : les récompenses sont souvent immédiates. Lorsque Pacman mange une pastille, le score augmente immédiatement et un son approprié signale au joueur sa progression. Dans un First Person Shooter, chaque tir bien placé est souvent directement perçu par le joueur, le plus souvent par un cri de l'adversaire et une gerbe de sang appropriée. Les auteurs rappellent que ce type de renforcement, immédiat, est bien plus efficace qu'un renforcement à plus long terme. Bien sûr un renforcement à long terme nécessite un traitement cognitif de la part du sujet, qui doit attribuer la récompense à un comportement antérieur, et les rats sont sûrement moins doués que les joueurs humains à ce type de raisonnement. Néanmoins, le renforcement immédiat a la puissance de sa lisibilité et constitue sûrement un des caractères attrayants des jeux vidéo.

Loftus et al pointent également un autre aspect addictif du jeu vidéo : sa capacité à maximiser le phénomène de regret. En effet, le regret qu'on peut éprouver à la suite d'un choix dépend en partie de la distance entre *ce qui est* et *ce qui aurait pu être* [Gilovich 95]. Par exemple, imaginons deux personnes en route pour la gare, partageant le même taxi. En chemin, le taxi joue de malchance et se retrouve bloqué par un accident, des camions poubelle et une manifestation, et les deux voyageurs arrivent à la gare dépités et avec une heure de retard, persuadés d'avoir manqué leur trains respectifs. En se tournant vers le tableau de départ, l'un des deux voyageurs remarque que son train avait une heure de retard au départ et l'aperçoit qui prend de la vitesse en s'éloignant du quai. Bien que le résultat soit similaire pour les deux personnes (elles ont manqué leur train), celle qui n'a manqué son train que de quelques secondes éprouvera un regret plus poignant que celle en retard d'une heure. Cette différence viendrait du fait qu'il est bien plus facile d'imaginer la situation où le passager le moins en retard court un peu plus vite dans la gare et arrive à prendre son train, que la situation où, entre autres, le taxi évite la manifestation, les camion poubelles et prend des raccourcis. Plus la distance entre l'échec et la réussite est faible et plus le regret est fort.

Dans un jeu vidéo où le niveau de challenge est optimal, la réussite ou l'échec du joueur tiennent à très peu de choses. Si la difficulté est trop importante, le joueur aura du mal à imaginer une version du scénario où il gagne, mais s'il perd de peu, alors le regret sera le plus important, et l'envie de jouer à nouveau pour diminuer cette sensation de regret et la transformer en sentiment de réussite sera beaucoup plus importante. Un bon niveau de difficulté maximise le regret du joueur et l'amène à tenter à nouveau l'expérience.

Loftus et al s'appuient également sur la théorie de la dissonance cognitive pour expliquer l'attrait des jeux vidéo. Leur postulat suppose que le fait qu'un jeu soit payant⁵ le rend plus attrayant que s'il était gratuit. Les auteurs rappellent deux expériences, une concernant directement la dissonance cognitive [Festinger 59] et l'autre portant sur l'impact des renforcements extrinsèques sur la motivation intrinsèque [Lepper 73].

La dissonance cognitive est une théorie qui propose que l'esprit humain cherche à diminuer ses incohérences logiques. La première étude que citent Loftus et al montre que si l'on force quelqu'un à mentir sur son opinion, alors cette personne aura tendance à réviser son opinion [Festinger 59]. Cette étude montre également que plus le mensonge est justifié par une récompense extrinsèque (ici 20\$), moins la personne révisera son opinion, ce qui, selon la théorie de la dissonance cognitive, s'explique par le fait qu'elle pourra justifier son comportement sur la base du renforcement extrinsèque. Cette théorie explique par exemple la technique de manipulation dite du *pied-dans-la-porte* : si un vendeur à domicile oblige un client potentiel à lui consacrer du temps, le comportement auquel le client se voit contraint (par politesse par exemple) l'amène à réviser son jugement sur le vendeur et à perdre une part de son libre arbitre.

On retrouve cette idée d'un impact du comportement sur le ressenti sous une autre forme, dans un article de Nabi et al [Nabi 04] au sujet du plaisir associés aux médias en général, ainsi que dans un article de Fang et al [Fang 08] plus spécifiquement orientés vers le jeu vidéo. Ces écrits proposent que le plaisir associé aux jeux vidéo constitue une *attitude* et doit donc être étudié sous un angle cognitif (intellectuel), affectif et conatif (comportemental). Les auteurs rappellent ainsi que le comportement est source d'une évaluation et donc influence notre ressenti : le fait de rire à gorge déployée devant un film ou de ne pas s'y autoriser devant le même film vu au cinéma correspond à deux attitudes différentes et à deux perceptions différentes.

La théorie de la dissonance cognitive permet à Loftus et al de supposer que lorsque le joueur paie un faible droit d'entrée pour essayer un jeu, son opinion sur le jeu est automatiquement surévaluée pour justifier son geste. L'investissement est faible, donc facilement consenti par le joueur, mais le comportement a un impact sur l'opinion du joueur. En suivant Loftus et al un peu plus loin, on pourrait expliquer l'aspect addictif de jeux basés sur un système d'expérience acquise à partir de tâche courtes et répétitives comme de nombreux jeux de rôles. Dans ce type de jeu, le joueur doit typiquement vaincre des monstres à la chaîne pour emmagasiner des points d'expérience. Ces points permettent ensuite de modifier les habiletés de son personnage. Les monstres sont en général vaincus simplement et rapidement, et au départ, peu de points suffisent pour obtenir une nouvelle habileté : la courbe de difficulté d'un jeu comme Fly For Fun (Figure ??) est particulièrement faible au départ. Attiré par les aspects graphiques, la curiosité, le joueur s'autorise à courir après

5. En 1980, les bornes d'arcades payantes étaient un des modes principaux de consommation des jeux vidéo.

quelques monstres. Rapidement, la courbe de difficulté s'élève : les épreuves sont similaires mais la quantité de points nécessaire pour atteindre un niveau supplémentaire augmente. Mais plus le joueur joue, plus son comportement précédent justifie le faible investissement d'aller encore tuer un petit monstre de plus.

La première expérience citée par Loftus et al montre également qu'un renforcement extrinsèque diminue la dissonance cognitive. La seconde étude que rapportent Loftus et al teste l'*effet de surjustification* [Lepper 73]. Cette expérience montre que l'attente d'un renforcement extrinsèque diminue l'attrait d'une tâche auparavant considérée comme intrinsèquement attirante. De jeunes élèves, naturellement attirés par le dessin, ont vu leur motivation diminuer si une récompense extrinsèque était associée au fait de dessiner. La présence d'un renforcement extrinsèque est ainsi à la fois inhibitrice de la dissonance cognitive et de la motivation intrinsèque.

Dans un jeu vidéo, le renforcement extrinsèque est inexistant, voir même négatif. Il existe peu de joueurs professionnels de jeu vidéo et le joueur moyen s'entend plus souvent dire qu'en terme d'effets extrinsèques, le jeu est au mieux une perte de temps et au pire une source de comportement violents. Un jeu vidéo semble donc être un environnement parfait pour exploiter les effets motivationnels de la dissonance cognitive. Aucun renforcement extrinsèque ne vient inhiber l'effet supposé de la dissonance cognitive, le comportement du comportement du joueur justifie et renforce sur intérêt pour le jeu.

L'approche théorique de Loftus et al laisse donc supposer qu'une courbe de difficulté soigneusement construite a de nombreuses raisons de maximiser la motivation du joueur. Le parallèle entre jeu vidéo et dispositif de renforcement fournit une explication à l'impact des variations de difficulté sur le plaisir du joueur constaté dans la partie précédente. De nombreuses variations de difficulté supposent en effet des renforcements fréquents et variables, ce qui correspond à un programme de renforcement partiel, plus efficace en terme de conditionnement. Des résultats expérimentaux ont également montré que les joueurs préfèrent une faible difficulté en début de jeu, ce que l'hypothèse de dissonance cognitive pourrait en partie expliquer. De plus, le phénomène de regret décrit par Loftus et al permet de supposer que si le joueur échoue avec un niveau de difficulté relative très faible, le regret et donc la motivations seront maximisés.

4.2.2 L'attribution causale

La théorie de l'attribution, proposée par Bernard Weiner, est une théorie de la motivation [Weiner 85] [Weiner 05], à l'origine de l'étude empirique de Klimmt et al présentée précédemment [Klimmt 09]. Cette théorie propose qu'un échec ou une réussite importante ou inattendue, au delà des émotions immédiates et primaires de joie ou de tristesse qu'elle suscite, provoque une évaluation cognitive de ses causes, qui va conditionner la future motivation. Si l'attribution causale dépend de chaque individu et que de très nombreuses causes

peuvent être invoquées, du point de vue de leur impact sur la motivation, chacune de ces attributions peut être placée dans un espace à trois dimensions, en fonction de son *locus*, de sa *stabilité* et de sa *contrôlabilité* [Weiner 85].

Le locus correspond au fait qu'une cause peut être interne au sujet (je suis fatigué) ou externe (il pleut). La stabilité décrit à quel point la cause peut évoluer, elle peut être très stable (un trait de caractère) ou très variable (le temps qu'il fait). La contrôlabilité décrit à quel point le sujet peut modifier cette cause : on peut contrôler son temps de travail, mais pas le temps qu'il fait. La position d'une cause dans cet espace à trois dimensions permet de prédire en partie le comportement du sujet et de son entourage. Si le sujet échoue à un examen parce qu'il n'a pas assez travaillé, alors la cause est interne, variable et contrôlable. Il sera plus motivé par une nouvelle tentative que s'il considère qu'il n'est pas doué pour les études, une cause interne, stable et non contrôlable. A l'inverse, la première cause suscitera bien plus de sentiments négatifs (colère) dans l'entourage du sujet que la seconde (pitié).

Plus précisément, Weiner lie attribution causale et motivation au travers des concepts d'*espérance* et de *valeur*⁶. L'espoir d'atteindre un but, et donc en partie la motivation à entreprendre une action, dépend principalement de la stabilité de la cause. Pour maximiser la motivation, il est préférable qu'un succès soit attribué à une cause stable et un échec à une cause instable. La valeur du but recherché dépend également d'une évaluation de sa cause : recevoir un cadeau n'a pas le même impact si sa cause est accidentelle ou volontaire par exemple. Ainsi, selon le modèle d'attribution causale de Weiner, le locus d'une cause conditionne le sentiment de fierté et d'estime de soi, la contrôlabilité détermine les sentiments de colère, gratitude, honte et pitié, et la stabilité conditionne l'espoir.

La théorie de l'attribution donne des pistes sur la manière de manipuler la difficulté. Tout d'abord, si la réussite ou l'échec du joueur reposent sur des causes identifiables alors le joueur pourra effectuer une attribution causale. Jesper Juul cite ainsi Weiner et explique que l'utilisation d'une barre d'énergie, dans un jeu, permet d'accumuler et de synthétiser de nombreuses causes avant que le joueur ne perde, et limite ainsi l'attribution causale en cas d'échec [Juul 03]. Juul suppose ainsi qu'en empêchant l'attribution causale, le joueur subit plus facilement un échec. On peut noter également que si chaque incrément de difficulté se traduit par un événement observable, comme des ennemis d'une couleur différente par exemple, alors le joueur pourra plus facilement imputer son échec à une augmentation visible de la difficulté, plus évidente, qu'à un problème lié à ses propres capacités, ce qui devrait limiter de trop malmener son ego.

Mais l'attribution causale peut aussi être exploitée pour motiver le joueur. Parmi les liens entre causalité et motivation proposé par Weiner [Weiner 85], celui entre stabilité et espérance semble être également manipulable.

La difficulté sensorielle, par exemple, permet à la fois d'imputer un échec à la complexité

6. expectancy-value

du jeu (locus) ainsi qu'à une faible stabilité. Si le joueur doit découvrir une information cachée dans l'univers pour progresser, et que cette information ne peut pas être déduite, alors il sait 1) que ses capacités logiques et motrices ne sont pas mises en causes car la solution est arbitraire 2) que si le jeu est bien conçu, l'information sera découverte s'il fouille et observe l'univers du jeu.

Dans un jeu comme *Zelda*, le joueur se confronte à différents ennemis et doit découvrir comment les vaincre. La solution est souvent arbitraire : assommer avec un boomerang avant d'utiliser l'épée par exemple. Confronté à un nouvel ennemi, le joueur sait qu'il doit découvrir la règle qui permet de s'en débarrasser, et qu'il trouvera cette règle à la suite de plusieurs essais. Ces capacités logiques et motrices ne sont pas le principal obstacle, mais une information qu'il doit découvrir (cause instable). Par contre, une fois découverte, cette information lui permettra de vaincre tous les ennemis du même type, ce qui lui promet de nombreux succès, basés sur une cause stable car il ne va pas oublier cette information. Ce type de progression, basé sur la découverte d'informations arbitraires mais d'un impact durable sur les capacités du joueur permettent de garantir sa motivation, si l'on s'appuie le modèle d'attribution causal de Weiner.

4.2.3 Sentiment d'efficacité personnelle

La théorie du sentiment d'efficacité personnelle, proposée par Albert Bandura de l'université de Stanford, précise la théorie générale d'espérance - valeur [Bandura 77]. La notion d'espérance correspond à la probabilité qu'un événement se produise, et celle de valeur à l'utilité de cet événement.

Plus précisément, dans le cadre d'un jeu vidéo, l'évènement correspond à la réussite d'un challenge. La probabilité de réussir un challenge est conditionnée par la difficulté relative de ce challenge, c'est à dire à la fois par la difficulté absolue de ce challenge et par la capacité du sujet à réussir ce challenge. Lorsque que le sujet évalue ses chances de réussite, il se base à la fois sur une vision subjective de la difficulté absolue de la tâche et sur une vision subjective de ses propres capacités, ce Bandura nomme le sentiment d'efficacité personnelle.

Au delà du lien évident entre efficacité et succès, un des intérêts de cette théorie repose sur sa prise en compte l'aspect subjectif de l'espérance. Comme tout sentiment, celui d'efficacité personnelle peut être manipulé pour maximiser la motivation et la performance. Comme l'explique Albert Bandura :

« Il est supposé que l'espérance d'efficacité personnelle détermine si un comportement d'adaptation sera mis en oeuvre, la quantité d'effort produite, et la durée de cet effort faces aux obstacles et expériences aversives. La persistance dans des activités subjectivement menaçantes mais en fait relativement sûres produit, grâce à l'espoir de maîtrise, un renforcement du sentiment d'efficacité personnelle et

la réduction résultante de comportement défensif.⁷ »

Bandura rapporte diverses expériences où l'efficacité des sujets a pu être manipulée en leur fournissant une fausse mesure d'efficacité, de manière à maximiser ou minimiser leur sentiment d'efficacité personnelle [Bandura 03].

Les jeux vidéos emploient couramment ce type de manipulation : dans un jeu comme Fallout 3 (Figure ??) par exemple, le joueur est survivant d'une apocalypse atomique. Il s'échappe d'un abri antiatomique où il a vécu toute son enfance et ne connaît donc rien du monde extérieur. Chaque rencontre avec un ennemi est subjectivement particulièrement menaçante : le joueur rencontre toute sorte d'animaux ayant muté suite à leur exposition aux radiations, des scorpions géants aux mutants humains surarmés. Ses rencontres se font en général dans des lieux inconnus, hostiles et isolés, où le joueur ne peut compter que sur lui-même. Les armes qu'il découvre sont vieilles, usées et s'abiment un peu plus à chaque utilisation. Néanmoins, si la difficulté perçue semble clairement titanique, la difficulté réelle est correctement définie par les game designers et le joueur a en général peu de chances de perdre. Les situations rencontrées sont subjectivement menaçantes mais objectivement relativement sûres. De plus, la victoire du joueur est en général représentée de manière à maximiser son sentiment de puissance, à grands renforts d'effets plus ou moins gores et de mouvements de caméra. Ce type de challenge, grâce à la disparité entre mode de représentation et risque réel, maximise le sentiment d'efficacité personnelle et donc la motivation du joueur.

Cette théorie peut également nous permettre de raisonner sur la progression de la difficulté. Albert Bandura explique que :

« Le succès augmente l'espoir de maîtrise; les échecs répétés le diminuent, particulièrement si ces échecs se produisent tôt dans la course des événements. Une fois qu'une solide espérance d'efficacité s'est construite grâce à des succès répétés, l'impact négatif d'échecs occasionnels sera certainement réduit. En effet, les échecs occasionnels qui seront plus tard dépassés au prix d'un effort déterminé pourront renforcer la persistance auto-motivée, si l'on découvre par l'expérience que même les obstacles les plus difficiles peuvent être surmontés grâce à un effort soutenu. L'effet des échecs sur le sentiment d'efficacité personnelle dépendent ainsi en partie du timing et du schéma global d'expérience dans lequel s'inscrit cet échec.⁸ »

La théorie du sentiment d'efficacité personnelle confirme que la difficulté doit être plus faible dans les premières phases de jeu. Si le système de représentation de l'univers du jeu met en scène des challenges subjectivement menaçants, une difficulté faible permet de s'assurer que le joueur réussira et maximise son sentiment d'efficacité personnelle. La difficulté

7. Traduit de l'anglais : [Bandura 77] - p 191

8. Traduit de l'anglais : [Bandura 77] - p 195

pourra ensuite être augmentée de manière à maintenir le niveau de challenge. Au départ, le joueur ne possède pas de référence sur la difficulté du jeu et ne peut s'appuyer que sur les représentations de l'univers pour inférer la difficulté d'une tâche. Mais si la difficulté reste faible trop longtemps, le joueur découvrira qu'il a très peu de chances d'échouer, le sentiment de challenge diminuera, ainsi que celui d'efficacité et donc la motivation du joueur s'atténuera. Les variations de difficulté permettent ainsi de maintenir le sentiment de challenge tout en s'assurant que le joueur réussit suffisamment pour maintenir son sentiment d'efficacité personnelle et sa motivation. L'augmentation progressive de cette difficulté permet au joueur de construire ce sentiment lors des premières phases de jeu, puis de l'utiliser comme source de motivation à chaque pic de difficulté, qui une fois dépassés, viendront à leur tour le renforcer.

4.2.4 L'expérience optimale

La théorie de l'expérience optimale, ou du *flow*, proposée par Mihaly Csikszentmihalyi, est une des théories les plus citées pour expliquer l'attrait du challenge et l'importance de la difficulté dans les jeux vidéo [Csikszentmihalyi 91]. Cette théorie est issue d'une expérience menée par Mihaly Csikszentmihalyi, au cours de laquelle de nombreux sujets furent équipés, au cours de plusieurs semaines, d'un pager sonnant à intervalles aléatoires. Lorsqu'il sonnait, le sujet devait noter l'activité en cours et décrire son état d'esprit, ainsi que le niveau de challenge et de compétence que son occupation demandait. Si le niveau de challenge et de compétence dépassaient tous les deux un niveau moyen, les sujets étaient considérés impliqués dans une expérience de flow. Au contraire pour des niveaux de challenge et de compétence nécessaire bas, l'état du sujet était qualifié d'apathique. Plus un sujet rapportait être dans une expérience de flow, et plus son état d'esprit s'approchait de qualificatifs comme *fort, actif, créatif, concentré*. À l'inverse, les sujets en état d'apathie se qualifiaient souvent de *passifs, faibles, maussades, insatisfaits*.

L'expérience montre par exemple que lorsque le pager sonnait au travail, 54% des réponses fournies plaçaient les sujets dans un état de flow, contre 18% pendant le reste de la journée. À l'inverse pendant le reste de la journée, 16% des réponses correspondaient au flow et 52% à un état d'apathie⁹. Ces observations ont amené l'auteur à formuler la théorie de l'expérience optimale.

Cette théorie stipule que certaines expériences sont particulièrement agréables car elles nous permettent de canaliser toute notre attention vers des buts précis, d'une manière constructive : les expériences optimales nous enrichissent physiquement et intellectuellement. Lorsqu'un aventurier escalade un sommet, il ressort de cette expérience grandi, plus fort et plus expérimenté. Le plaisir apporté par ces expériences est à distinguer du plaisir

9. [Csikszentmihalyi 91] - p 159

sensuel, ressentit lorsque l'on comble un besoin physique. Se nourrir est agréable mais cyclique, permet de satisfaire un besoin pour un temps donné, mais la faim revient toujours et nous ramène au point de départ. Les expériences optimales ont la particularité de nous faire progresser, de « *complexifier notre moi* »¹⁰.

Les expériences optimales se distinguent par huit caractéristiques. Il faut 1) avoir une chance de réussir, 2) pouvoir se concentrer, la tâche doit fournir 3) des buts clairs et 4) un retour immédiat, 5) on s'y engage profondément mais sans effort et en oubliant les problèmes de la vie quotidienne, 6) on contrôle ses actions, 7) la conscience de soi disparaît mais réapparaît ensuite plus forte une fois la tâche terminée, 8) la notion du temps est altérée¹¹.

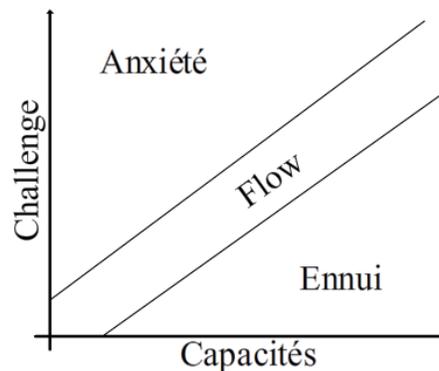


FIGURE 4.4 – Le flow : équilibre entre challenge et capacités [Csikszentmihalyi 91].

Plus précisément, l'état de flow est atteint lorsque le niveau de difficulté de la tâche est adapté. Le challenge doit être à la hauteur de nos capacités, ce que résume la figure 4.4. Si challenge et capacités sont adaptés, l'expérience optimale est possible et on peut atteindre l'état de flow. Par contre, si le niveau de challenge est inférieur à nos capacités, nous sommes dans un état d'ennui et à l'inverse, dans un état d'anxiété si le niveau de challenge est supérieur à nos capacités.

La théorie proposée par Mihaly Csikszentmihalyi s'applique parfaitement au jeu vidéo. Pour permettre au joueur de vivre une expérience optimale, un jeu vidéo doit proposer un niveau de challenge adapté aux capacités du joueur. Cette vision de l'équilibre entre difficulté et challenge fournit également une explication au fait que dans certaines études présentées dans la partie précédente, une faible corrélation linéaire ait été observée entre

10. « *Following a flow experience, the self is more complex than it had been before.* » [Csikszentmihalyi 91] - p 41

11. [Csikszentmihalyi 91] - p 49

difficulté relative et plaisir du joueur (section 4.1.5). La relation entre ces deux variables n'est pas linéaire mais correspondrait par exemple plus à une loi normale (Figure 4.5).

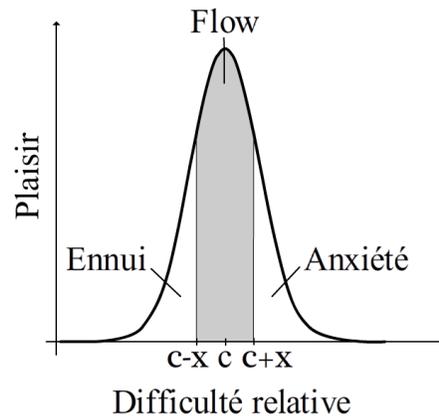


FIGURE 4.5 – Le flow et la difficulté relative.

c correspond à l'effort maximal que le joueur peut fournir et x à l'écart d'effort que la tâche peut demander sans que le joueur sorte de l'état de flow.

On remarque que la loi normale n'est pas centrée sur 0 mais sur c , effort maximal que peut fournir le joueur. En effet, selon Mihaly Csikszentmihalyi, une expérience de flow absorbe la totalité de notre attention. Si l'effort n'est pas ressenti, il est bien réel, l'organisme tout entier se consacre pleinement à une seule et même tâche. Nous avons défini la difficulté relative comme une mesure de l'effort du joueur. Cet effort est nul si la tâche ne lui demande aucune ressource, se traite par automatisme. Au cours d'une expérience optimale, le joueur est totalement absorbé, toutes ses capacités sont mobilisées et donc son effort est maximal.

La théorie du flow a fait l'objet de plusieurs études, plus spécifiquement centrées sur le jeu vidéo au domaine du jeu vidéo. Penelope Sweetser et Peta Wyeth proposent par exemple une grille d'analyse des jeux vidéo basée sur le flow [Sweetser 05]. Cowley et al s'inspirent du flow et de l'incongruité [Rauterberg 95] pour représenter le jeu sous forme d'un système de traitement d'information [Cowley 08]. John L. Sherry applique le flow au plaisir que procurent les média en général puis spécifiquement au jeux vidéo, et l'utilise pour expliquer les différences inter-genres de préférence : les choix des hommes et des femmes en terme de jeux vidéo s'expliqueraient par leurs différences cognitives et donc par le type de tâches pouvant leur apporter une expérience optimale [Sherry 04]. Beume et al tentent de mesurer le flow dans leur propre version de Pacman à partir d'une mesure objective de difficulté basée sur la distance entre pacman et les fantômes, ainsi qu'un questionnaire sur la difficulté

ressentie, une évaluation du fun et du temps de jeu supposé [Beume 08]¹². Jesper Juul a mené une étude sur la difficulté qui confirme la nécessité de faire gagner mais aussi perdre les joueurs, et note que ces résultats appuient la théorie du flow [Juul 09]. Noah Falstein s'appuie sur le flow pour étudier le plaisir de jouer, et remarque que la progression de difficulté, tout en restant dans le canal du flow, doit être variable [Falstein 05]

D'un point de vue général, la théorie du flow cadre parfaitement avec l'idée d'une courbe de difficulté adaptée à l'expérience du joueur. Cette théorie souligne que si la difficulté relative dépasse certains seuils positifs ou négatifs, alors le plaisir du joueur sera compromis.

4.2.5 Difficulté et émotions

Comme nous l'avons dit précédemment, le jeu vidéo est tout d'abord à considérer dans sa valeur esthétique, dans l'ensemble d'émotions qu'il procure au joueur [Salen 03]. L'étude des émotions est un domaine complexe de la psychologie, sujet à de nombreuses controverses, dont Gilles Kirouac propose par exemple une revue détaillée [Kirouac 94]. Une description des différents modèles serait ici à la fois hors de propos et hors de nos compétences. Cependant, certains travaux suggèrent l'importance de la difficulté dans l'esthétique des jeux vidéo et méritent d'être soulignés dans cette section.

Torben Grodal analyse l'impact émotionnel des jeux vidéo à partir de deux principes : les situations dangereuses, menaçant notre survie, sont propices à générer des émotions fortes, et ces émotions dépendent de l'évaluation cognitive de ces situations [Grodal 00]. Tomber dans le vide est par exemple une situation propice à l'expérience d'émotions fortes, dont la valeur dépendra par exemple du fait qu'on y tombe par accident (évaluation cognitive plutôt négative) ou par loisir, muni d'un parachute (évaluation cognitive plutôt positive).

Les jeux vidéo, ainsi que de nombreux autres médias, exploitent ce type de situations pour susciter diverses émotions chez le spectateur. La difficulté joue alors un rôle particulier dans ce processus : elle contrôle en grande partie le niveau de danger auquel le joueur est confronté. Bien sûr, le système de représentations joue aussi un rôle principal, et confronter le joueur à un orc géant et hurlant provoquera sûrement au départ de fortes réactions. Mais si les émotions sont le résultat d'un processus cognitif, ainsi que d'un apprentissage [Damasio 94], l'orc ne continuera à susciter un stress chez le joueur que s'il représente un danger potentiel, si le vaincre est associé à un certain niveau de difficulté. Si l'orc ne représente pas de réel danger, le joueur le comprendra et le retiendra, et son évaluation cognitive et donc son émotion en seront affectées.

D'un point de vue plus général, plus abstrait, on peut également considérer la difficulté dans une perspective de traitement de l'information, comme le niveau d'incongruité d'un

12. Le résultat le plus intéressant de cette étude montrent qu'une faible corrélation (0.24 $p=0.01$) existe entre les mesures objectives et subjectives de difficulté.

message par exemple. Le modèle mis au point par Rauterberg propose qu'un niveau d'incongruité optimal est source d'émotions positives, alors qu'une trop grande ou trop faible incongruité sera source d'émotions négatives [Rauterberg 95]¹³. Cette vision est partagée dans des domaines artistiques comme la musique [Meyer 56] ou l'étude plus général des oeuvres ouvertes [Eco 65]. Dans ces deux cas, le spectateur est face à une oeuvre qu'il interprète sur la base de ses connaissances. Il s'attend à retrouver des formes, un style qu'il a appris à distinguer mais que l'oeuvre d'art manipule, remet en question. Ces variations entre l'objet présenté et l'ensemble de représentations du spectateur créent un suspense, une émotion, jusqu'à ce que la disparité qui au départ éveillait les sens finisse par être intégrée, habituelle.

Plusieurs auteurs considèrent que l'apprentissage, la recherche et l'intégration des disparités entre le matériel présenté et le modèle mental qu'en a construit le joueur sont l'essence même du jeu [Koster 05] [Crawford 84] [Crawford 03]. Certaines études suggèrent en effet qu'il existe un plaisir inhérent à l'apprentissage, et pointent même les structures neurologiques responsables de ce plaisir [Biederman 06].

La complexité du jeu semble donc avoir un rôle fondamental à jouer vis à vis du plaisir du joueur. A chaque fois que la difficulté relative augmente, le joueur est soumis à un stress. Ce stress suscitera une émotion positive si le joueur parvient à le surmonter et réussit l'épreuve. Ce faisant, le joueur devra traiter des informations inhabituelles, inattendues, activité qui constituerait une source de plaisir en elle même. Ces deux mécanismes s'appuient sur une variation de la difficulté, et tendent à confirmer son statut fondamental vis à vis du plaisir du joueur.

4.3 Synthèse

Tout d'abord, ce chapitre a permis de souligner l'importance de la difficulté sur le plaisir et la motivation du joueur à la fois grâce aux études empiriques mais également à partir des différentes propositions théoriques relevées dans la littérature. La théorie du flow et les liens proposés entre difficulté et émotions montrent, d'une manière générale, que la complexité d'un jeu, correctement manipulée, est source de plaisir pour le joueur.

Les différentes études empiriques présentées dans la première section montrent tout d'abord que, globalement, la complexité du jeu a un impact certain sur le plaisir du joueur. Plusieurs dimensions proposées pour décrire le plaisir du joueur, telles que challenge et curiosité, hard fun et easy fun ou compétence et autonomie, dépendent toutes directement de la complexité du jeu.

Plus précisément ces expérimentations ont permis de proposer des propriétés de bonne formation d'une courbe de difficulté. Tout d'abord, il semble que la difficulté absolue n'ap-

13. Modèle que Lankveld propose effectivement d'appliquer au jeu vidéo [van Lankveld 08]

porte pas beaucoup d'informations sur le plaisir du joueur, ce à quoi nous pouvons proposer deux explications. Premièrement, à un même niveau de difficulté absolue vont correspondre des efforts différents pour chaque joueur, en fonction de leurs propres capacités. Mais plus important encore, une valeur de difficulté absolue calculée sur l'ensemble de l'expérience ne prend absolument pas en compte la forme de la courbe de difficulté, qu'elle réduit à une valeur unique, et son pouvoir descriptif est donc trop faible. La mesure de la difficulté relative permet de contourner le premier écueil puisqu'elle mesure l'effort fourni par chaque joueur, néanmoins, cette mesure est également d'un faible pouvoir descriptif. De plus la recherche d'une corrélation linéaire contredit la forme générale d'une relation entre difficulté et plaisir, que présente particulièrement bien la théorie du flow.

Par contre, ces études montrent que le taux de variation de la difficulté permet de prédire plus efficacement l'intérêt du joueur. Les modèles présentés par Yannakakis et al tendent à montrer que les joueurs apprécient un niveau de variabilité important ce qui reste à étudier plus précisément et dans d'autres contextes.

Finalement, l'expérience de Klimmt montre que pendant les premières minutes de découverte d'un jeu vidéo, le joueur semble apprécier un niveau de difficulté faible.

Ces résultats semblent confirmés par une analyse plus théorique du lien entre difficulté et plaisir du joueur. Tout d'abord, le phénomène de dissonance cognitive semble confirmer le bien fondé d'une courbe de difficulté faible en début de jeu. La théorie du sentiment d'efficacité personnelle appuie également cette idée. C'est en tout début de jeu qu'un échec serait le plus dévastateur pour le joueur et également à ce moment qu'il est le plus facile de créer une distance entre difficulté subjective et difficulté objective.

Ensuite, le parallèle entre programme de renforcement et courbe de difficulté confirme l'intérêt de proposer des variations fréquentes de difficulté, de manière à s'appuyer sur un programme de renforcement partiel.

Finalement, la notion de regret propose que l'échec du joueur survienne à un niveau de difficulté relative le plus faible possible. Si le joueur échoue à cause d'une simple petite erreur, son regret et sa motivation seront maximisés. La théorie de l'attribution le suggère également, si la difficulté relative est faible, le joueur pourra attribuer son échec à un relâchement d'attention, une cause personnelle, instable et contrôlable donc source de motivation.

Ainsi, observée à une grande échelle, une courbe de difficulté absolue en plateaux successifs paraît très intéressante. Si chaque incrément de difficulté permet de rejoindre ou de dépasser légèrement le niveau du joueur, sa motivation devrait être maximisée. En effet, si un incrément de la courbe de difficulté ne dépasse pas de beaucoup le niveau du joueur, celui-ci aura plus de chances d'attribuer son échec à une cause surmontable que si l'incrément est très important et le joueur dépassé. Ensuite, la phase de plateau lui permettra de sécuriser son apprentissage et de confirmer sa réussite, qu'il pourra attribuer à une cause stable.

Observée de manière plus précise, chaque plateau ne doit pas forcément proposer un niveau de difficulté constant. Un niveau de difficulté oscillant entre le niveau du joueur et

un niveau plus négatif serait plus approprié. De cette manière, si le joueur joue toujours à son meilleur niveau, il réussit, mais s'il relâche un peu son attention, la moindre erreur correspondra à un échec. Cet échec sera dû à une erreur que le joueur aurait pu éviter avec plus d'investissement, donc à une cause instable. On sait que maintenir un niveau d'attention élevé est fatiguant, et qu'il faut donc forcément laisser des plages de respiration dans la courbe de difficulté de manière à ce que le joueur se repose. Une courbe de difficulté optimale placerait donc des plages de respiration entre des plages de difficulté égales au niveau du joueur.

Le jeu Pacman fonctionne par exemple de cette façon. D'un point de vue macroscopique, la difficulté progresse en plateaux, sur des très nombreux niveaux. Pendant chaque niveau, la difficulté n'est pas constante mais varie. Les fantômes suivent en effet des cycles réguliers, chassant Pacman pendant une période puis retournant chacun dans leur coin la période suivante [Pittman 09]. De cette manière, le joueur dispose de périodes où il peut facilement confirmer sa supériorité, et de périodes plus difficiles, où il doit maintenir son attention au maximum pour échapper aux fantômes.

Étant donné les conclusions que nous tirons des différentes études rapportées dans ce chapitre, nous pouvons formuler dès maintenant les caractéristiques que devrait respecter une courbe de difficulté optimale :

- une première phase de progression graduelle,
- une seconde phase de forte variabilité,
- les challenges les plus difficiles doivent à peine dépasser le niveau du joueur.

Nous étudierons la validité dans la partie expérimentale de cette thèse. Mais avant d'être en mesure d'étudier expérimentalement la forme d'une courbe de difficulté, il convient d'en proposer une méthode de mesure. Dans le prochain chapitre, nous présentons nos toutes premières tentatives de mesure de difficulté.

Glossary

First Person Shooter First Person Shooter, jeu de tir en vue subjective.. 9, 12

Bibliographie

- [Bandura 77] Albert Bandura. *Self-efficacy : Toward a Unifying Theory of Behavioral Change*. Psychological Review, vol. 84, no. 2, pages 191–215, 1977.
- [Bandura 03] Albert Bandura & Edwin A. Locke. *Negative Self-Efficacy and Goal Effects Revisited*. The Journal of applied psychology, vol. 88, no. 1, pages 87–99, 2003.
- [Beume 08] N. Beume, H. Danielsiek, C. Eichhorn, B. Naujoks, M. Preuss, K. Stiller & S. Wessing. *Measuring flow as concept for detecting game fun in the Pac-Man game*. In Evolutionary Computation, 2008. CEC 2008. (IEEE World Congress on Computational Intelligence). IEEE Congress on, pages 3448–3455, June 2008.
- [Biederman 06] Irving Biederman & Edward A. Vessel. *Perceptual Pleasure and the Brain*. American Scientist, vol. 94, pages 247–253, 2006.
- [Cowley 08] Ben Cowley, Darryl Charles, Michaela Black & Ray Hickey. *Toward an understanding of flow in video games*. Comput. Entertain., vol. 6, no. 2, pages 1–27, 2008.
- [Crawford 84] Chris Crawford. The art of computer game design. Osborne/McGraw-Hill, Berkeley, CA, USA, 1984.
- [Crawford 03] Chris Crawford. Chris crawford on game design. New Riders Games, June 2003.
- [Csikszentmihalyi 91] Mihaly Csikszentmihalyi. Flow : The psychology of optimal experience. Harper Perennial, March 1991.
- [Damasio 94] Antonio Damasio. Desartes' error : Emotion, reason, and the human brain. Avon Books, 1994.
- [Eco 65] Umberto Eco. L'oeuvre ouverte. Seuil, 1965.
- [Falstein 05] Noah Falstein. *Understanding Fun : The Theory of Natural Funativity*. In Steve Rabin, editeur, Introduction to Game Development, pages 71–98. Charles River Media, 2005.

- [Fang 08] Xiaowen Fang, Susy Chan, Jacek Brzezinski & Chitra Nair. *Measuring Enjoyment of Computer Game Play*. In Americas Conference on Information Systems, 2008.
- [Festinger 59] L. Festinger & J. M. Carlsmith. *Cognitive Consequences of Forced Compliance*. *Journal of Abnormal and Social Psychology*, vol. 58, pages 203–210, 1959.
- [Gilovich 95] Thomas Gilovich & Victoria Husted Medvec. *The Experience of Regret : What, When, and Why*. *Psychological Review*, vol. 102, no. 2, pages 379–395, 1995.
- [Grodal 00] Torben Grodal. *Video Games and the Pleasures of Control*. In *Media Entertainment : The Psychology of its Appeal*, chapitre 11, pages 197–212. D. Zillmann & P. Vorderer, 2000.
- [Juul 03] Jesper Juul. *The Game, the Player, the World : Looking for a Heart of Gameness*. In Marinka Copier & Joost Raessens, editeurs, *Level Up : Digital Games Research Conference Proceedings*, pages 30–45, 2003.
- [Juul 09] Jesper Juul. *Fear of Failing? The Many Meanings of Difficulty in Video Games*. In *The Video Game Theory Reader 2*. Wolf & Bernard Perron (eds.), 2009.
- [Kirouac 94] Gilles Kirouac. *Les Emotions*. In *Traité de Psychologie Experimentale*. Presses Universitaires de France, 1994.
- [Klimmt 09] Christoph Klimmt, Christopher Blake, Dorothee Hefner, Peter Vorderer & Christian Roth. *Player Performance, Satisfaction, and Video Game Enjoyment*. In ICEC, pages 1–12, 2009.
- [Koster 05] Raph Koster. *A theory of fun for game design*. Paraglyph Press, Scottsdale, Arizona, 2005.
- [Lazzaro 04] Nicole Lazzaro. *Why We Play Games : Four Keys to More Emotion Without Story*. In *Game Developers Conference*, March 2004.
- [Lepper 73] M. R. Lepper, D. Greene & R. E. Nisbett. *Undermining Children's Intrinsic Interest with Extrinsic Rewards : A Test of the "Overjustification" Hypothesis*. *Journal of Personality and Social Psychology*, vol. 28, pages 129–137, 1973.
- [Loftus 83] Geifrey R. Loftus & Elizabeth F. Loftus. *Mind at play, the psychology of video games*. Basic Books, 1983.
- [Malone 80a] Thomas W. Malone. *What Makes Things Fun to Learn, A Study of Intrinsically Motivating Computer Games*. Rapport technique CIS-7

- (SSL-80-11), Xerox Palo Alto Research Center, Palo Alto, California, August 1980.
- [Malone 80b] Thomas W. Malone. *What makes things fun to learn? heuristics for designing instructional computer games*. In SIGSMALL '80 : Proceedings of the 3rd ACM SIGSMALL symposium and the first SIGPC symposium on Small systems, pages 162–169, New York, NY, USA, 1980. ACM.
- [Malone 82] Thomas W. Malone. *Heuristics for designing enjoyable user interfaces : Lessons from computer games*. In Proceedings of the 1982 conference on Human factors in computing systems, pages 63–68, New York, NY, USA, 1982. ACM.
- [Meyer 56] Leonard B. Meyer. *Emotion and meaning in music*. The University of Chicago Press, Chicago, 1956.
- [Nabi 04] Robin L. Nabi & Marina Krcmar. *Conceptualizing Media Enjoyment as Attitude : Implications for Mass Media Effects Research*. *Communication Theory*, vol. 14, no. 4, pages 288–310, 2004.
- [Pittman 09] Jamey Pittman. *The Pac-Man Dossier*. Gamasutra : <http://www.gamasutra.com/> (last access 01/2009), 2009.
- [Rauterberg 95] Matthias Rauterberg. *About a framework for information and information processing of learning systems*. In Proceedings of the IFIP international working conference on Information system concepts, pages 54–69, London, UK, UK, 1995. Chapman & Hall, Ltd.
- [Ryan 06] Richard M. Ryan, C. Scott Rigby & Andrew Przybylski. *The Motivational Pull of Video Games : A Self-Determination Theory Approach*. *Motivation and Emotion*, vol. 30, no. 4, pages 344–360, decembre 2006.
- [Salen 03] Katie Salen & Eric Zimmerman. *Rules of play : Game design fundamentals*. The MIT Press, October 2003.
- [Sherry 04] John L. Sherry. *Flow and Media Enjoyment*. *Communication Theory*, vol. 14, no. 4, pages 328+, 2004.
- [Sweetser 05] Penelope Sweetser & Peta Wyeth. *GameFlow : a model for evaluating player enjoyment in games*. *Comput. Entertain.*, vol. 3, no. 3, page 3, July 2005.
- [van Lankveld 08] Giel van Lankveld, Pieter Spronck & Matthias Rauterberg. *Difficulty Scaling through Incongruity*. In Proceedings of the Fourth Artificial Intelligence and Interactive Digital Entertainment Conference, Stanford, California, USA, October 22-24 2008.

- [Vorderer 03] Peter Vorderer, Tilo Hartmann & Christoph Klimmt. *Explaining the enjoyment of playing video games : the role of competition*. In ICEC '03 : Proceedings of the second international conference on Entertainment computing, pages 1–9, Pittsburgh, PA, USA, 2003. Carnegie Mellon University.
- [Weiner 85] Bernard Weiner. *An Attributional Theory of Achievement Motivation and Emotion*. Psychological Review, vol. 92, no. 4, pages 548–573, 1985.
- [Weiner 05] Bernard Weiner. Motivation from an attribution perspective and the social psychology of perceived competence, chapitre 5, pages 73–84. A. J. Elliot and C. S. Deweck, 2005.
- [Yannakakis 06] G. N. Yannakakis, J. Hallam & H. H. Lund. *Comparative Fun Analysis in the Innovative Playware Game Platform*. In Proceedings of the 1st World Conference for Fun 'n Games, pages 64–70, Preston, England, June 26-28 2006.
- [Yannakakis 07a] Georgios N. Yannakakis & John Hallam. *Game and Player Feature Selection for Entertainment Capture*. In IEEE Symposium on Computational Intelligence and Games, pages 244–251, Hawaii, USA, 2007.
- [Yannakakis 07b] Georgios N. Yannakakis & John Hallam. *Modeling and Augmenting Game Entertainment through Challenge and Curiosity*. International Journal on Artificial Intelligence Tools, vol. 16, no. 6, pages 981–999, 2007.
- [Yannakakis 07c] Georgios N. Yannakakis & John Hallam. *Towards Optimizing Entertainment in Computer Games*. Applied Artificial Intelligence, vol. 21, no. 10, pages 933–971, 2007.
- [Yannakakis 09] Georgios N. Yannakakis & John Hallam. *Real-time Game Adaptation for Optimizing Player Satisfaction*. IEEE Transactions on Computational Intelligence and AI in Games, vol. 1, no. 2, pages 121–133, June 2009.