

Chapitre 2

La difficulté élément de gameplay

Sommaire

2.1	Définition générale	2
2.2	Manipulation de la difficulté	5
2.2.1	Courbe de difficulté	6
2.2.2	Scénarisation	8
2.2.3	Equilibrage dynamique	12
2.3	Evaluation de la difficulté	16
2.3.1	Les tests de jouabilité	16
2.3.2	Test par joueur synthétique	18
2.4	Synthèse	19

Dans ce premier chapitre, nous étudions la difficulté en tant qu'élément de gameplay, c'est-à-dire en tant que partie intégrante de n'importe quel jeu vidéo. Nous souhaitons tout d'abord faire ressortir, par une approche très générale, la place fondamentale qu'occupe la difficulté dans toute activité ludique. Nous proposerons de définir la difficulté d'un jeu comme l'effort que fournit le joueur pour atteindre ses objectifs, effort mis en scène par le gameplay.

Dans un second temps, nous étudierons de quelle manière, aujourd'hui, chercheurs et game designers approchent cette notion épineuse, afin d'être tout autant capable de manipuler que d'évaluer la difficulté d'un jeu vidéo.

Pour aborder le thème de la difficulté dans les jeux vidéo, une première étape consiste donc à examiner les définitions générales qu'ont proposées différents auteurs. Nous disposons tous d'une définition intuitive du jeu, qu'il convient de préciser et de compléter par une étude de ce qu'offre la littérature à ce sujet. Plusieurs auteurs ont réfléchi à la notion de jeu, par exemple dans son impact sur nos sociétés, ou avec l'objectif d'établir un vocabulaire commun

et de permettre ainsi un meilleur partage des connaissances relatives à la conception des jeux. L'étude de ces travaux va nous permettre de poser un cadre théorique et de faire ressortir si, d'une manière générale et purement descriptive, la difficulté joue bien un rôle important dans l'activité ludique.

2.1 Définition générale

Plusieurs auteurs ont proposé des définitions du jeu, aussi bien sous une forme très générale, qu'en s'intéressant plus spécifiquement au jeu vidéo. Ces définitions sont intéressantes et nécessaires : en étudiant le rôle de la difficulté dans la conception d'un jeu vidéo, on pénètre au coeur du jeu pour en examiner les rouages. L'image intuitive que nous avons tous du jeu montre alors ses limites. Nous sommes en effet tous capables d'identifier une activité ludique, mais décrire sa forme générale avec justesse pour en faire un objet théorique manipulable se révèle beaucoup plus difficile. Ces définitions permettent de mettre le doigt sur certaines des propriétés principales du jeu, et leur étude doit nous permettre de déterminer si la difficulté en fait partie.

Johan Huizinga, historien néerlandais, a rédigé un essai sur la fonction sociale du jeu [Huizinga 51]. Il y propose une définition précise et intuitive :

« Sous l'angle de la forme, on peut donc, en bref, définir le jeu comme une action libre, sentie comme "fictive" et située en dehors de la vie courante, capable néanmoins d'absorber totalement le joueur ; une action dénuée de tout intérêt matériel et de toute utilité ; qui s'accomplit en un temps et dans un espace expressément circonscrits, se déroule avec ordre selon des règles données, et suscite dans la vie des relations de groupes s'entourant volontiers de mystère ou accentuant par le déguisement leur étrangeté vis-à-vis du monde habituel. »

Cette première définition pose certaines des caractéristiques essentielles du jeu. Tout d'abord, Huizinga fait ressortir l'aspect libre, gratuit du jeu. Il remarque que le joueur est engagé dans une « *action libre* » : il joue parce que le système de jeu lui apporte quelque chose, et non parce qu'on lui impose de jouer. Cette liberté est de plus renforcée par un autre aspect du jeu : l'action du joueur y est « *dénuée de tout intérêt matériel et de toute utilité* ». Ces caractéristiques placent le créateur de jeu vidéo à une place singulière parmi les développeurs de logiciels. Il doit fournir une application qui n'est pas un outil pour exploiter une machine à des fins extérieures au logiciel, mais un objet qui porte ses propres objectifs, et donc auquel les utilisateurs sont totalement libres d'adhérer. Cette position peut bien sûr être nuancée, en rappelant par exemple l'aspect social du jeu, au coeur de l'ouvrage de Johan Huizinga et à la fin de cette définition. Le jeu suscite des relations de groupes et ces relations, qui perdurent souvent hors de l'univers du jeu¹, peuvent constituer un objectif

1. « *La communauté joueuse accuse une tendance générale à la permanence, même une fois le jeu ter-*

atteint au moyen du jeu. Néanmoins, si le jeu peut être employé comme un outil, une des ses propriétés fondamentales reste de pouvoir obligatoirement être envisagé *per se*.

Huizinga met également en avant le décalage des jeux par rapport au réel, à la vie courante : ces activités s'accomplissent « *en un temps et dans un espace expressément circonscrits, [...] avec un ordre et selon des règles données* » et présentent une « *étrangeté vis-à-vis du monde habituel* ». Toujours dans le même ouvrage, Huizinga écrit cette jolie formule : « *L'extravagance et l'extase constituent les deux pôles de l'ambiance ludique.* » Le jeu est donc le cadre d'un rêve, il nous extirpe du réel et du quotidien et propose un monde parallèle, au sein d'un espace et d'un temps particuliers, avec ses règles, ses objectifs et sa propre échelle de valeurs.

En ce qui nous concerne plus précisément, c'est à dire au regard de la difficulté, cette définition fait ressortir une caractéristique fondamentale du jeu : pour qu'une activité soit considérée comme ludique, elle doit être autonome. Cette activité doit être coupée du monde réel, tant dans son exécution qui suit ses propres règles, que par le fait que son intérêt réside principalement dans son exécution, et non par exemple dans un gain matériel ou tout autre forme de rétribution qui la rattacherait à la vie courante. Ce premier point nous éloigne de la notion de difficulté plus qu'il nous en rapproche. Le dictionnaire Larousse définit *difficile* comme « *Qui n'est pas facile à réaliser, qui exige des efforts importants ; ardu, malaisé* ». En quoi une activité libre et gratuite serait elle pratiquée si elle exige un effort, est ardue, malaisée ? Johan Huizinga précise que le joueur est intensément absorbé, ce qui pourrait traduire un effort, mais d'autres activités libres et gratuites comme regarder un film ou faire une sieste nous absorbent intensément sans pour autant être ardues ou malaisées.

Si cette première définition semble écarter le jeu de la difficulté, elle souligne en même temps un point essentiel. Si le jeu demande bel et bien un effort au joueur, c'est que cette difficulté contribue activement à renforcer son expérience. On joue dans un espace et un temps choisis, et selon des règles choisies : si jouer demande un effort alors cet effort est volontaire car uniquement déterminé par des règles qu'il suffirait de modifier. Cependant, la définition de Johan Huizinga ne précise pas si l'investissement du joueur suppose un effort de sa part, il est donc nécessaire de se pencher sur d'autres définitions pour préciser ce point.

Plusieurs autres auteurs, parmi lesquels Roger Caillois, Bernard Suits, Avedon et Sutton, Chris Crawford, David Kelley, Katie Salen et Eric Zimmerman ont proposé leur propre définition du jeu. Ces définitions, ainsi que celle de Johan Huizinga, ont été rassemblées, analysées et synthétisées par Jesper Juul [Juul 03]. Il propose ainsi la définition suivante :

« *Le jeu est un système formel basé sur des règles, avec un résultat variable et quantifiable, où différents résultats se voient attribuer différentes valeurs, le joueur exerçant un effort pour influencer ce résultat, auquel il est attaché, et dont les conséquences sont négociables et optionnelles.* »

miné. » (p.30)

Cette définition aborde le jeu d'une manière plus formelle. La notion d'autonomie a en partie disparue mais subsiste dans l'idée d'un système formel basé sur des règles, mais par contre, cette définition précise qu'un jeu fournit un résultat quantifiable auquel le joueur est attaché et qu'il fournit un effort pour l'influencer. En plaçant au coeur de sa définition l'attachement du joueur au résultat et l'effort qu'il fournit, Jesper Juul confirme l'importance de la difficulté dans l'expérience offerte par un jeu. En effet, la notion de difficulté d'un jeu est synonyme d'effort fourni par le joueur, et Jesper Juul considère que cet effort est un trait caractéristique de l'ambiance ludique en le faisant figurer dans sa définition.

Ces définitions pointent la difficulté comme un rouage essentiel du jeu vidéo : la définition de Jesper Juul précise que le joueur fournit un effort et se heurte donc à un niveau de difficulté, et la définition de Johan Huizinga insiste sur l'autonomie de l'activité ludique, donc sur le fait que cette difficulté est utile, volontaire, car totalement maîtrisable puisque le jeu est autonome.

La littérature propre au game design, c'est à dire à la conception de jeux vidéo, souligne également la notion de difficulté comme prépondérante. Chris Crawford explique qu'un jeu suppose un but donné au joueur et des obstacles qui l'empêchent d'atteindre ce but [Crawford 84]. Il insiste sur le fait que la notion de conflit, donc d'effort et de difficulté, est un élément nécessaire et indispensable.

Ces définitions posent les traits principaux du jeu, et mettent en évidence l'importance de la difficulté dans cette activité. Bien sûr, leur objectif est uniquement descriptif et ces définitions n'expliquent en aucun cas en quoi la difficulté joue un rôle important vis à vis du jeu, ce sur quoi nous reviendrons par la suite. Elles se contentent de faire ressortir la difficulté comme essentielle à la plupart des expériences de jeu. Elles sont également forcément incomplètes : la définition d'un concept aussi général et partagé que le jeu est complexe, et ses frontières sont suffisamment floues pour qu'aucune définition basée sur une accumulation de propriétés ne puisse englober l'ensemble des activités ludiques. Mais ces définitions, et à plus forte raison la synthèse de Jesper Juul, construite comme une synthèse des définitions précédentes, nous donnent une vision prototypale du jeu suffisante pour débiter notre analyse théorique.

Pour finir, cette première approche permet d'adapter la définition générale de la difficulté au cadre du jeu vidéo et d'en proposer une plus adaptée à notre propos :

« La difficulté d'un jeu est la mesure des efforts successifs que doit fournir un joueur pour atteindre les différents objectifs qui lui sont assignés par le jeu. »

Cette définition de la difficulté implique plusieurs corollaires. Tout d'abord, la difficulté est liée aux buts du joueur et aux obstacles que le gameplay oppose à ces buts. Ensuite, si la difficulté est une mesure de l'effort du joueur, elle dépend donc de chaque joueur. La difficulté est avant tout relative aux savoirs et compétences de chaque joueur.

Cette première approche est très générale et fait ressortir l'importance de la difficulté pour le jeu et nous a permis d'en proposer une définition générale. Nous poursuivons ce

chapitre par l'étude de travaux de designers et de chercheurs consacrés à la manipulation et la mesure de la difficulté dans les jeux vidéo. Cette revue de littérature permet de mieux comprendre l'utilité, tant pour la recherche que pour l'industrie, d'une méthode générale de mesure de la difficulté dans les jeux vidéo.

2.2 Manipulation de la difficulté

Manipuler la difficulté d'un jeu vidéo est une tâche complexe [Rollings 03, Boutros 08, Douville 09]. Andrew Rollings et Ernest Adams abordent la problématique de la difficulté d'un gameplay par la notion d'*équilibre* d'un jeu vidéo, qu'ils définissent de la façon suivante : « *Un jeu équilibré est un jeu où le talent du joueur est le facteur déterminant de sa réussite.* ». Cette définition ne décrit pas le niveau de difficulté d'un jeu, mais explique que cette difficulté doit être cohérente avec les capacités du joueur : plus il joue, plus il gagne de l'expérience et donc plus la difficulté globale du jeu doit diminuer. Si ce n'est pas le cas, le joueur se bat contre un système indépendant de ses capacités, comme un jeu de hasard pur par exemple, et ce jeu est considéré comme déséquilibré. Face à un jeu de loto, peu importe l'expérience du joueur, ses chances de réussite sont toujours les mêmes.

Cette définition implique également une idée plus précise que la simple corrélation entre l'effort du joueur et sa réussite, elle implique aussi une quantification de cette réussite, c'est à dire un niveau de difficulté donné. Le premier niveau d'équilibre consiste en un choix structurel général : les actions du joueur doivent avoir un impact sur la dynamique du jeu, et cet impact doit être plus ou moins reproductible, pour que le joueur puisse s'exercer et gagner de l'expérience. Mais l'équilibre d'un jeu demande surtout un nombre considérable d'ajustements minutieux. Un jeu est conçu pour un joueur type, avec un talent donné, et sa difficulté doit être précisément calibrée. L'équilibre d'un **First Person Shooter**² sur Wii, par exemple, sera très différent de celui d'un First Person Shooter sur PC, même si les principes généraux de gameplay peuvent paraître similaires. Le joueur type de Wii est un joueur occasionnel, dont l'investissement et donc la marge de progression sont plus limités, alors qu'un joueur type de First Person Shooter sur PC est plus impliqué et recherche une difficulté plus élevée. L'équilibre va donc au delà de la stricte définition de Rollings et Adams : le talent du joueur doit être le facteur déterminant de sa réussite, mais surtout l'effort à fournir pour réussir doit être borné : suffisant pour donner sa valeur à la réussite, mais d'un niveau qui permette au joueur d'échapper le plus souvent à l'échec et au découragement.

Comme nous l'avons décrit précédemment, la difficulté d'un jeu vidéo n'est pas une donnée stable, mais suit un processus en constante d'évolution. En effet, le niveau du joueur varie du fait de son apprentissage et donc le jeu doit s'adapter en permanence pour fournir une valeur de difficulté optimale. Ce problème particulier de l'adaptation de la difficulté est prin-

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

cipalement pris en compte par deux méthodes de game design, scénarisation et adaptation dynamique, qui suscitent chacune de nombreuses recherches, et bénéficieraient particulièrement d'une méthode de mesure générale de la difficulté dans les jeux vidéo. Dans les sections suivantes, nous présentons tout d'abord plus précisément la courbe de difficulté des jeux vidéo, qui décrit le processus d'évolution de la difficulté. Par la suite, nous présentons une revue de littérature des méthodes qui permettent de maîtriser cette courbe.

2.2.1 Courbe de difficulté

Depuis le début de ce document, la difficulté est définie en fonction d'un joueur moyen, le joueur cible du vidéo. A chaque fois que nous avons abordé la difficulté d'un jeu, c'était en référence implicite à ce joueur moyen, car la difficulté d'un jeu n'est pas une propriété du jeu, mais la valeur d'une relation entre un jeu et un joueur. Or en jouant, le joueur progresse. Il explore l'univers du jeu, développe des heuristiques pour prévoir les conséquences de ces actions et augmente ses capacités de coordination oculo-manuelle ainsi que sa rapidité à exécuter certains types d'actions. La difficulté d'un jeu est donc par essence variable, et tend à diminuer au cours du temps.

Il est donc nécessaire de définir plus précisément la difficulté afin de prendre en compte plus clairement son aspect relationnel, en introduisant les notions de difficulté *absolue* et *relative* :

- **La difficulté absolue d'un jeu** décrit l'effort que doit fournir un joueur type, aux capacités statiques, pour atteindre les objectifs que son gameplay propose.
- **La difficulté relative d'un jeu** décrit l'effort que doit fournir le joueur, dont les capacités évoluent tout au long du jeu, pour atteindre les objectifs que son gameplay propose.

Pour maintenir un certain niveau de difficulté relative, il est donc nécessaire d'augmenter la difficulté absolue d'un jeu, en fonction de l'évolution des capacités du joueur. Ed Byrne, Level Designer, explique ainsi qu'un jeu suit une courbe de difficulté particulière [Byrne 04]. Dans sa plus simple expression, cette courbe est en plateaux si on représente la difficulté absolue du jeu ou en dents de scie si on trace la difficulté à laquelle un joueur actif est confronté (Figure 2.1). Chaque accroissement de la difficulté correspond à une modification du gameplay : la difficulté augmente si l'on resserre les contraintes d'exécution d'une action, si on ajoute un nouvel objet qui augmente la complexité du système ou si on découvre une nouvelle partie de l'univers à explorer. La difficulté tend ensuite à diminuer pour le joueur actif, qui travaille son habileté, s'attache à comprendre les implications de l'apparition d'un nouvel objet ou explore l'univers du jeu.

On peut isoler deux techniques principales de construction d'une courbe de difficulté, dont l'utilisation dépend principalement du type de jeu envisagé. On peut en effet distinguer deux

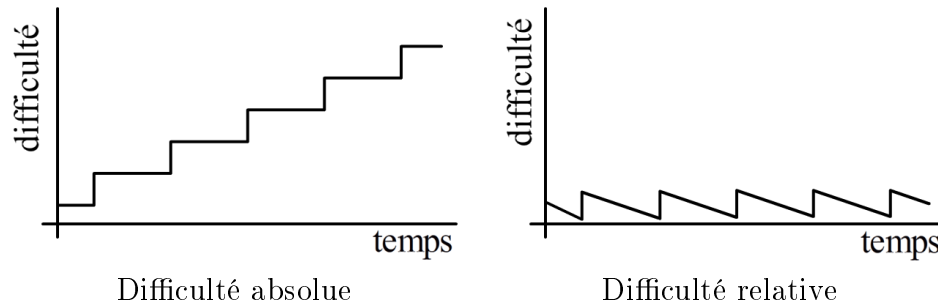


FIGURE 2.1 – Courbes de difficulté

grandes familles de jeu vidéo, les jeux de *progression* ou d'*émergence* [Juul 03] [Rollings 03]. La distinction repose sur la technique de design employée. Dans un jeu de progression, les designers ont fixé le plus précisément possible le parcours du joueur. L'ensemble des situations auxquelles il va se confronter ont été réfléchies, calibrées, et explicitement encodées dans le contenu du jeu. C'est ce qu'on appelle *scénariser* un gameplay. De plus, les jeux qui développent un contenu narratif sont typiquement des jeux de progression, le joueur découvre une histoire écrite par un scénariste ce qui suppose un déroulement précis des événements. La plupart des jeux de plateformes (Figure 2.2) sont des jeux de progression : le parcours du joueur y est contraint et finement organisé.



FIGURE 2.2 – Super Mario World (Nintendo)

A l'inverse, dans un jeu émergent, le designer ne peut pas prévoir le contenu de chaque partie. Un match de foot ou une partie d'échecs, par exemple, ne sont pas scénarisés. Quelques règles définissent le comportement des objets du jeu et chaque partie émerge de l'application de ces règles et de l'interaction des objets du jeu.

Plus précisément, progression et émergence ne sont pas deux catégories distinctes mais les extrémités d'un même axe, qui décrit le niveau de contrôle du designer sur l'expérience du joueur. En ce qui concerne la manipulation de la difficulté, plus le game designer a prévu

le parcours du joueur et plus il lui est possible de définir précisément sa courbe de difficulté, comme présenté dans la section suivante. Dans un jeu qualifié d'émergent, le designer a moins de contrôle sur le déroulement des événements et des algorithmes génériques seront plus appropriés, comme décrit dans la section 2.2.3.

2.2.2 Scénarisation

En tant qu'outil de manipulation de la difficulté, la scénarisation est vue ici comme une modification arbitraire et planifiée de la difficulté d'un jeu vidéo. La scénarisation permet de moduler finement la difficulté du jeu pour prendre en compte les capacités du joueur.

La plupart des **RTS**³ proposent par exemple un mode scénarisé. Le joueur débute avec un faible nombre d'unités et doit atteindre des objectifs à court terme face à une intelligence artificielle bridée. Au fur et à mesure, le joueur progresse dans le scénario et on lui permet d'utiliser plus d'unités, pour atteindre des objectifs à plus long terme et face à un adversaire toujours plus efficace. La scénarisation permet de découper l'apprentissage du joueur, en s'assurant de son niveau à chaque étape. De cette manière la difficulté du jeu reste équilibrée tout au long de son parcours, et il est possible d'amener le joueur à exploiter tout le potentiel de difficulté du jeu. Pour le jeu de go par exemple, de nombreux sites internet proposent un apprentissage scénarisé, sous la forme de problème à résoudre. Ces problèmes posent un objectif à court terme clairement défini (e.g. sauver tel groupe de pierres) et permettent ainsi au joueur d'aborder des situations de jeu qu'il serait plus difficile de travailler lors d'une partie complète.



FIGURE 2.3 – The Legend of Zelda : A Link to the Past (Nintendo)

La scénarisation permet de manipuler le gameplay au cours du temps. Par exemple, dans un jeu d'aventure comme Zelda (Figure 2.3), les joueurs découvrent petit à petit des objets qui leur permettent d'accéder à de nouvelles sections de la carte. L'univers du jeu s'étend

3. Real Time Strategy : jeux de stratégie temps réel

donc régulièrement, à peine le joueur a-t-il exploré une partie de l'univers qu'une autre se déverrouille et demande à être explorée. De même, les ennemis que rencontre le joueur doivent être vaincus au moyen de stratégies, déterminées arbitrairement par le game designer, que le joueur doit découvrir. A chaque nouvelle zone correspond de nouveaux types d'ennemis que le joueur doit apprendre à vaincre.

Dans *Zelda*, la progression de la difficulté du gameplay est rythmée par le déblocage de nouvelles zones et objets de l'univers accessible au joueur. Chaque nouvelle partie du jeu apporte de nouvelles énigmes dont le joueur doit découvrir la solution. Mais contrairement à un jeu comme *Indiana Jones* (Figure 3.1) où chaque découverte du joueur peut être en général immédiatement oubliée, la découverte du maniement des objets dans *Zelda* permet au joueur de se construire une base de règles. Plus il progresse dans le jeu, et plus le nombre d'objets à combiner pour résoudre les énigmes sera important et donc plus la difficulté absolue de chaque énigme augmente. Le joueur développe ainsi un réel sentiment de progression, en constatant que son investissement passé lui permet de résoudre des énigmes qu'il n'aurait jamais pu résoudre au début du jeu.

La scénarisation est donc une manière artificielle d'encadrer l'apprentissage du joueur, et suppose un découpage préalable du gameplay en phases successives à la difficulté choisie. Ce type d'équilibrage demande un travail de fond conséquent. Il a l'avantage de sa franchise : le joueur sait qu'il suit un scénario et qu'on lui distille, étapes après étapes, une expérience de jeu calibrée et planifiée sur le long terme. En ce qui nous concerne, cette méthode à l'avantage de reposer sur les choix du game designers, choix pouvant être encodés dans un modèle. Un modèle de scénario pourrait permettre au game designer de représenter facilement et précisément le scénario de son jeu ainsi que de fournir un maximum d'annotations concernant la planification de la difficulté, nous permettant ainsi d'en calculer plus facilement la courbe.

La scénarisation n'a cependant pas que des aspects positifs. Cette méthode impose des contraintes et donc limite la liberté du joueur par un encadrement dont le côté artificiel n'est pas toujours apprécié. La scénarisation limite également la variabilité des parties proposées : une fois le scénario totalement exploré, le joueur a eu accès à l'ensemble du contenu proposé et le jeu n'a plus d'intérêt, ce qui par exemple n'arrivera jamais à un joueur de *go*. Un sous-domaine particulier de la recherche en intelligence artificielle s'est ainsi fixé pour objectif de concilier contenu scénarisé et émergent, cherchant ainsi à créer un univers proposant les avantages des deux et les inconvénients d'aucun : la narration interactive.

2.2.2.1 Scénarisation et recherche

Dans de nombreux jeux d'aventures, le joueur est soumis à deux logiques, celle du gameplay, et celle du scénario. Toutes ces règles contraignent le comportement du joueur dans l'univers du jeu : la logique du gameplay l'empêche de se déplacer en volant ou d'ouvrir

une porte dont il ne possède pas la clef, la logique scénaristique peut choisir de faire mourir un personnage dont le joueur aurait préféré ne pas se séparer, ou lui interdire de poser certaines questions à un personnage du jeu, car il n'a pas été prévu qu'il y réponde. Ces règles enrichissent le jeu : les règles de gameplay fournissent des buts au joueur, et des obstacles qui déterminent la valeur de ces buts. Le scénario établit l'évolution du jeu dans le temps, de manière à lui faire suivre la structure la plus riche et la plus plaisante. Mais ces règles peuvent également frustrer le joueur, en particulier lorsqu'il existe une contradiction entre les attentes du joueur et le déroulement du jeu. Bien souvent, ces incohérences surgissent du fait qu'une règle scénaristique vient rompre la cohérence du gameplay. En effet, dans la plupart des jeux d'aventure, le joueur emploie la plus grande partie de son temps à jouer, et donc est immergé dans la logique du gameplay. Les règles scénaristiques interviennent quant à elles ponctuellement, pour orienter le joueur dans la direction voulue par le scénario. Bien souvent, le joueur ne s'en aperçoit même pas, il suit un chemin sans s'apercevoir à quel point il est balisé. Mais parfois, les incohérences apparaissent de manière évidente.

Dans le jeu *Fallout 3* (Bethesda) (Figure 2.4), par exemple, le joueur peut interagir avec un grand nombre d'objets, et leur comportement répond à la logique générale d'un monde post-apocalyptique. De nombreuses règles sont alors faciles à admettre, comme le fait que les armes aient une certaine portée, qu'on puisse blesser toute créature vivante et qu'un chien irradié soit dangereux. Ces règles respectent la logique générale d'un jeu d'aventure post-apocalyptique, et le joueur les accepte une bonne fois pour toutes. Par contre, se voir interdire la mise en marche d'une machine que le joueur répare depuis plusieurs jours et dont il sait qu'elle fonctionne parfaitement, au moyen d'un message textuel signifiant « *Qu'il n'est pas encore temps* », est plus illogique et difficile à admettre. Le joueur réalise à cet instant que l'univers virtuel dans lequel il s'est immergé et dont il a accepté sa logique peut brusquement perdre sa cohérence et évoluer de manière arbitraire et imprévisible.



FIGURE 2.4 – *Fallout 3* (Bethesda)

Ces limitations parfois frustrantes des univers virtuels scénarisés sont donc à l'origine de nombreuses recherches en narration interactive, à la recherche d'univers où l'on peut « *aller n'importe où et faire n'importe quoi* » [Bates 92]. Plus précisément, l'objectif de ces chercheurs consiste à être capable de relâcher en partie la tension entre liberté du joueur et

contraintes scénaristiques en adaptant si possible le scénario au comportement du joueur. Un composant logiciel particulier, le Drama Manager, est alors chargé de permettre au joueur d'évoluer dans un scénario respectant les volontés d'un auteur, tout en contraignant le moins possible le parcours du joueur.

La gestion d'histoires par recherche⁴ consiste par exemple à définir les propriétés d'un bon scénario, et à utiliser ces propriétés pour rechercher le meilleur scénario intégrant le mieux possible le comportement du joueur [Bates 92], [Mateas 03], [Nelson 05], [Nelson 06], [Nelson 08], [Roberts 06], [Roberts 07], [Barber 07], [Mott 06]. Cela revient à créer un générateur de scénario, capable d'inférer la valeur d'une histoire à partir de certaines de ses propriétés (e.g. unité de lieu, causalité, conflit...). Le joueur dispose ainsi d'un espace de liberté bien plus important, et on lui refusera une action beaucoup plus rarement.

Une autre approche consiste à partir d'un scénario défini et à considérer le maintien de la cohérence de ce scénario face aux actions du joueur. L'architecture Mimesis [Young 01] ou d'IN-TALE [Riedl 06], associée au principe de médiation de la narration⁵ [Riedl 03] représente l'histoire sous forme d'un plan annoté causalement. Si une action du joueur met en danger ces relations causales, plusieurs comportements peuvent être envisagés : *accommodation* qui consiste à modifier le plan pour en rétablir la cohérence, ou l'*intervention*, c'est à dire un échappatoire quelconque permettant de ne pas exécuter l'action du joueur. Certaines étapes du plan peuvent être fondamentales et considérées comme des buts auteurs, que le mécanisme de planification sera forcé d'intégrer dans sa solution [Riedl 09]. D'autres approches de la narration interactive, tel l'Interactive Drama Architecture (IDA) de Brian Magerko et John E. Laird [Magerko 04], spécifient également un scénario à respecter et un système d'action à utiliser pour guider le joueur vers cet espace narratif. Le but n'est plus alors de conserver une histoire cohérente mais d'agir sur l'univers pour ramener le joueur vers le scénario prédéfini.

L'ensemble des systèmes de narration interactive partagent l'objectif de manipuler les règles du jeu à l'exécution, de manière à prendre en compte l'évolution du joueur. Ces modifications peuvent s'appuyer sur n'importe quelle heuristique : conflit, causalité, unité de lieu aussi bien que difficulté du gameplay. Une méthode de mesure de la difficulté serait d'un intérêt particulier pour toutes ces méthodes, leur permettant de planifier un chemin respectant plus finement la courbe de difficulté planifiée par le game designer.

Les systèmes de narration interactive restent cependant particulièrement complexes, et sont principalement des sujets de recherche uniquement implantés dans des prototypes. Cependant, de nombreux jeux vidéo proposent des gameplays en partie émergents. Ils ne peuvent ni s'appuyer uniquement sur une scénarisation fixe de la difficulté, ni mettre en place un système de narration interactive de la complexité de ceux présentés précédemment. Ces jeux s'appuient sur des algorithmes plus simples, décrits dans la prochaine section, que

4. SBDM, Search Bases Drama Management

5. Narrative Mediation

nous regroupons sous le terme d'équilibrage dynamique de la difficulté.

2.2.3 Equilibrage dynamique

L'équilibrage dynamique permet de maintenir le niveau de difficulté d'un jeu cohérent avec les capacités du joueur, d'une manière réactive, générique. Le jeu adapte sa difficulté en fonction du comportement du joueur et suit ainsi une voie différente de la scénarisation, qui impose au joueur son comportement à partir d'un cadre de difficulté prédéfini. Son emploi est par contre particulièrement délicat, car comme tout système intervenant de manière automatique sur le gameplay, il peut avoir des conséquences dramatiques s'il n'est pas utilisé de manière suffisamment subtile [Adams 08].

Les méthodes d'auto adaptation peuvent être cependant très efficaces, par exemple pour manipuler les contraintes de coordination oculo manuelle. On retrouve souvent ce type d'algorithme dans des jeux d'actions : il est facile de relâcher ou de restreindre les contraintes de réalisation d'une action en fonction des résultats du joueur sans que celui ci s'en rende compte. Il est par contre plus difficile de jouer sur d'autres aspects du gameplay : la lisibilité des informations fournies au joueur peut être manipulée en brouillant plus ou moins la vision du joueur, mais modifier la composition et l'accès du joueur à l'univers du jeu en temps réel et de manière cohérente est beaucoup plus délicat, et la logique de l'univers dépend de des relations entre les différents objets du jeu, plus compliquées à manipuler de manière instantanée.



FIGURE 2.5 – Unreal Tournament 3 (Epic Games / Infogrames)

Dans un First Person Shooter comme *Unreal Tournament 3*, par exemple, l'objectif du joueur consiste à tuer le plus possible d'ennemis en mourant le moins de fois possible (Figure 2.5). Lorsque le joueur tue un ennemi, celui-ci est immédiatement ressuscité à un autre endroit du niveau. Mais avant d'être à nouveau sur le terrain, cet ennemi subit une petite modification : ses capacités sont augmentées (reflexes, précision, capacités sensorielles) et le

niveau de difficulté augmente. De même, lorsque le joueur meurt, l'ennemi qui l'a tué subit une modification équivalente mais dans le sens inverse, de manière à diminuer la difficulté. De cette manière la difficulté du jeu suit le niveau du joueur et lui évite une trop grande frustration face à des échec successifs, ou un ennui profond face à des ennemis trop poussifs. Bien sûr, avant chaque partie, le joueur peut choisir le niveau de difficulté et calibrer globalement son expérience. Mais le système se débrouille ensuite pour s'ajuster finement aux capacités du joueur, sans s'éloigner de manière trop flagrante du niveau de difficulté initial. Ces modifications se font totalement à l'insu du joueur et la seule manière d'en avoir conscience consiste à lire les scripts de l'intelligence artificielle du jeu. La liberté du joueur est ainsi préservée, tout en trichant subrepticement pour adapter précisément la difficulté.

Il aurait été également possible de manipuler la difficulté d'une manière moins subtile mais plus efficace, en modifiant par exemple directement les points de vie du joueur lorsque ceux-ci dépassent un certain seuil, comme expérimenté par Robin Hunicke dans le First Person Shooter *Case Closed* [Hunicke 05]. Cette technique d'ajustement limite simplement la probabilité qu'a le joueur de perdre s'il n'effectue pas les bonnes actions. La difficulté repose sur l'effort que doit fournir le joueur pour atteindre un objectif. Le système d'adaptation peut donc aussi bien modifier les moyens du joueur que simplement diminuer le niveau d'exigence de l'objectif.



FIGURE 2.6 – Pure (Black Rock Studio / Disney Interactive)

Il est également possible d'apporter une dose de scénarisation à un algorithme d'équilibrage dynamique, ce que propose par exemple le jeu de course *Pure* [Jimenez 09] avec un « *script de course* ».

Ce jeu étend ainsi le principe de *l'élastique*⁶ en le scénarisant. La technique de l'élastique consiste à imaginer que tous les adversaires sont attachés au joueur par un élastique. Plus ils sont loin du joueur et plus une force les oblige à s'en rapprocher. Les ennemis à la traîne sont donc plus rapides et rattrapent le joueur, et ceux en avance sont ralentis. Cette approche

6. Rubber band

est une illustration parfaite de l'équilibrage dynamique et montre immédiatement ses deux faiblesses : si le joueur bride volontairement ses capacités, il verra que le jeu s'adapte et l'illusion aura du mal à être maintenue. Si le système est parfait, le joueur va passer toute la course entouré de ces adversaires, quelque soit son comportement. L'équilibrage dynamique peut donc en quelque sorte compromettre l'équilibrage tel que définit par Andrew Rollings et Ernest Adams, c'est à dire empêcher que le joueur soit le facteur déterminant de sa réussite.

En scénarisant l'équilibrage dynamique, *Pure* choisit par exemple de désactiver l'algorithme d'équilibrage pendant les derniers tours de la course, ou crée des groupes d'adversaires en leur attribuant des capacités différentes et variables tout au long de la course, de manière à s'adapter au joueur dynamiquement, tout en respectant en partie un schéma préétabli.

2.2.3.1 Equilibrage dynamique et recherche

L'équilibrage dynamique a suscité de nombreuses recherches, en particulier parce qu'il constitue un champ d'application intéressant des diverses techniques d'intelligence artificielle. Il s'agit en effet de développer un composant capable d'optimiser certains paramètres du gameplay en temps réel, pour s'adapter au comportement du joueur.

L'apprentissage automatique est une voie particulièrement explorée dans le cadre de l'adaptation dynamique du gameplay. Ces techniques présentent en effet l'avantage de calculer de manière automatique des paramètres de gameplay avec l'objectif d'optimiser une mesure, qui peut être par exemple la difficulté du jeu. Si le joueur développe une stratégie trop efficace, en particulier s'il découvre une faille dans un gameplay émergent, alors une IA adaptative doit pouvoir le déceler et s'adapter en conséquence. Le revers de la médaille concerne bien sûr l'imprévisibilité d'un processus d'apprentissage automatique. L'algorithme peut échouer dans sa recherche d'une solution, ou développer un comportement optimal mais non désiré, parce que par exemple non crédible dans le contexte de l'univers, et ruiner l'expérience globale du joueur malgré un gameplay équilibré. La mesure à optimiser ne capture en effet qu'une toute petite parcelle de l'objectif global du game designer. C'est pourquoi l'industrie du jeu vidéo limite aujourd'hui l'apprentissage automatique à des sous problèmes d'optimisation très particuliers [Manslow 04].

La recherche dans ce domaine fournit cependant un certain nombre de tentatives fructueuses, et plusieurs familles d'algorithmes d'apprentissage ont été étudiées dans le cadre des jeux vidéo. L'apprentissage par renforcement [Sutton 98] a permis à divers équipes de générer des IA pour des jeux de combat [Andrade 05], [Graepel 04], de stratégie temps réel [Madeira 04], [Madeira 06], [Ulam 05], ou pour des First Person Shooter [Lee-Urban 08]. Une version allégée de l'apprentissage par renforcement a été développée par Pieter Spronck, le scripting dynamique, qui calcule des préférences au niveau de règles écrites par le designer. Le scripting dynamique est appliqué de manière successive à un jeu d'aventure (Neverwinter Nights - Bioware) et de stratégie temps réel (Wargus) [Spronck 05], [Spronck 06],

[Spronck 08] [Timuri 07], [Ponsen 06], [Ludwig 07].

L'évolution génétique et les réseaux de neurones, utilisés séparément ou conjointement, permettent également de créer automatiquement des IA pour divers types de gameplay, jeu d'action [Demasi 03],[Spronck 02], jeux de stratégie temps réel [Ponsen 05], [Agogino 00], des FPS [Cole 04], [Thureau 03], des jeux de sport (FIFA 99 - EA Games) [Chan 04], de puzzle (Tetris - Nitendo) [Bohm 05] ou de réalité virtuelle [Yannakakis 09], [Yannakakis 07]. D'autres recherches portent par exemple sur des algorithmes de champs de potentiels pour les comportements stratégiques dans un FPS [Thureau 04] ou de raisonnement par cas pour RTS [Aha 05].

Toute recherche sur la génération automatique d'une IA permet par principe de modifier le niveau de difficulté en créant dynamiquement des adversaires d'un niveau donné ou en modifiant des paramètres de gameplay à la volée. Certains chercheurs ce sont directement focalisés sur cette utilisation des algorithmes d'apprentissage pour l'équilibrage dynamique du gameplay. Gustavo Andrade et al adressent par exemple directement l'adaptation de la difficulté avec l'apprentissage par renforcement [Andrade 05]. L'algorithme consiste à faire apprendre à l'IA une table de l'efficacité espérée de couples (*action, etat du jeu*), et donc lui permet d'adopter un comportement d'une efficacité choisie. Pieter Spronck a étudié diverses manières de modifier le calcul des préférences de sélections des différentes règles pour générer des comportement plus ou moins optimaux [Spronck 05]. Jeremy Ludwig a utilisé une version hiérarchique du scripting dynamique pour équilibrer le score dans un jeu de type proie vs prédateur (sous problème d'un RTS) [Ludwig 07]. Georgios Yannakakis évolue un réseau de neurones pour prédire les préférences du joueur [Yannakakis 07] et l'utilise ensuite en temps réel pour équilibrer le gameplay [Yannakakis 09]. Dans l'ensemble de ces recherches, la mesure de difficulté repose sur une combinaison linéaire de paramètres de gameplay.

Ces différentes recherches montrent que sur des expériences réalisées en laboratoire et sur une gamme de jeux plutôt large, il est possible de manipuler des paramètres du gameplay dans le but d'en optimiser une propriété particulière. Ces techniques sont cependant limitées par leur instabilité et par l'étendue de leur champ de vision : elles assujettissent une grande partie de la dynamique du jeu à la mesure d'une des facettes de l'expérience du joueur et posent la question de la qualité d'un contenu modifié à la volée. Sera t'il possible d'encoder de manière suffisamment précise la volonté de l'auteur de manière à permettre à un algorithme de produire un contenu la respectant ? L'aspect itératif du développement de jeu vidéo tendrait pour l'instant à orienter la réponse vers la négative. Sans parler d'encoder un but esthétique, si un game designer pouvait spécifier sa vision d'un jeu à son équipe, au travers d'un document de game design, de la richesse du langage naturel et de leurs références communes au monde du jeu vidéo, le développement pourrait plus facilement s'approcher d'un cycle en V que d'une longue suite d'essai-erreurs. Le développement d'un jeu semble nécessairement lié à l'évaluation constante de son auteur et à une démarche avant tout expérimentale.

Notre objectif dans cette thèse n'est pas de mettre au point de tels mécanismes génératifs, mais d'utiliser au mieux les acquis de ces différentes recherches pour fournir aux auteurs une vision précise de la difficulté de leur gameplay et d'en faciliter ainsi le processus créatif. Les modèles narratifs utilisés en narration interactive peuvent nous permettre d'encoder dans un modèle manipulable le scénario défini par le game designer. Un tel modèle serait utile au game designer comme outil de test, de validation et de représentation de ses courbes de difficultés.

Les différentes recherches concernant les IA adaptatives montrent qu'il est possible et utile d'explorer un gameplay à l'aide d'algorithmes d'apprentissage. Utilisés lors des phases de design, ces outils peuvent apporter des informations utiles au game designer sur la dynamique du gameplay qu'il conçoit.

La modification du gameplay n'est cependant qu'une des deux facettes de l'équilibrage d'un jeu vidéo. Une part importante de ce processus consiste à évaluer un gameplay existant pour déterminer s'il est correctement équilibré. Une méthode de mesure de la difficulté peut évidemment s'inspirer des techniques de mesure déjà utilisées par l'industrie du jeu ou proposées par la recherche. La section suivante couvre deux techniques d'évaluation du gameplay : les tests de jouabilité et l'analyste systématique du gameplay.

2.3 Evaluation de la difficulté

2.3.1 Les tests de jouabilité

Une première méthode d'évaluation de la difficulté consiste bien évidemment à recruter des joueurs pour tester le jeu en cours de développement, et à étudier ensuite soigneusement leur comportement et leur réflexions sur une portion choisie du gameplay [Davis 05], [Gomez-Martin 06].

Les inconvénients de cette méthode sont principalement son coût, sa complexité de mise en place et la subjectivité des résultats obtenus. Le jeu est en effet très souvent mis à jour au fur et à mesure que son équilibrage progresse. La portée d'un test est donc limitée dans le temps. Il s'agit de tester une version du jeu dont la durée de vie n'est que d'une itération. Il n'est pas possible de répéter ces tests à chaque itération, et l'équipe de développement reste donc avant tout la principale équipe de test.

Ces tests sont complexes à mettre en place car comme toute expérience, ils demandent une préparation minutieuse, le suivi d'un protocole, le recueil des données et l'interprétation des résultats. Il faut recruter un type de joueur cohérent avec la cible marketing du jeu, éviter les biais relatifs à toute expérience de ce type, et travailler sur un stock de données suffisamment conséquent pour que les résultats soient statistiquement valides.

Une fois les tests effectués, la subjectivité de leur résultat peut être un obstacle majeur à leur impact sur le développement du jeu. Les tests de jouabilité sont complexes à mettre en

oeuvre et donc réalisés sur une version du jeu suffisamment aboutie pour que leur résultat soit le plus significatif possible et les choix de design les plus avancés possibles. Mais c'est aussi à ce moment que les avis ont le plus convergé, et qu'il est le plus difficile de convaincre une équipe de développement qu'un groupe de jeunes testeurs a mis à jour une erreur de design, en particulier si la mise en évidence de cette erreur repose sur des appréciations subjectives. Néanmoins, cette étape est primordiale pour permettre à une équipe de design de poser un oeil neuf sur leur jeu, et éviter ainsi les erreurs les plus évidentes d'équilibrage. De plus, elle seule permet d'observer le comportement de vrais joueurs, toujours à même de surprendre les designers.



FIGURE 2.7 – Battlefield Heroes (Electronic Arts / Dice)

Plus particulièrement, les jeux en ligne disposent d'un gros avantage vis à vis de ce type de tests : les joueurs sont en permanence connectés au serveur, et leur comportement peut être analysé de manière transparente. La plupart de ces jeux sont d'ailleurs tout d'abord diffusés sous la forme de bêta fermées, dont l'accès est réservé au joueur avertis. Durant l'évaluation de la version bêta du First Person Shooter gratuit en ligne *Battlefield Heroes* (Figure 2.7), seuls les joueurs disposant d'une clé diffusé en nombre limité pouvaient avoir accès au jeu. Ces joueurs sont donc particulièrement motivés, et constitueront probablement le coeur de la future communauté de joueurs. A l'issue des parties, chaque joueur pouvait répondre à un questionnaire d'ordre général sur sa connaissance du jeu et, par exemple, son approche du micro paiement. Il lui était également possible de s'exprimer plus en longueur sur le forum en ligne du jeu. Le jeu disposait de deux cartes lors de l'ouverture de sa version bêta fermée, puis de quatre cartes lors de son ouverture officielle au grand public. La moitié des cartes a donc été développée en prenant régulièrement l'avis de nombreux joueurs, ce qui a permis de valider une grande partie du gameplay de *Battlefield Heroes* avant sa sortie.

Les tests de jouabilité sont donc complexes à réaliser, bien que plus faciles à mettre en place lors du développement d'un jeu en ligne. L'avis et la mesure du comportement des joueurs reste cependant une des méthodes les plus puissantes d'évaluation d'un gameplay et

l'augmentation croissante des jeux en réseau, avec des consoles de salon disposant aujourd'hui elles aussi d'un accès internet, rend les techniques d'analyse de comportement des joueurs et des paramètres de gameplay bien plus abordables, et motive d'autant la création d'outils capables d'effectuer ce type de mesures.

Néanmoins, il est également possible d'étudier un gameplay sans avoir recours à un joueur humain, ce que nous avons appelé le test par joueur synthétique, présenté dans la section suivante.

2.3.2 Test par joueur synthétique

Analyser un gameplay en faisant appel à des testeurs humains a l'avantage de reproduire le plus fidèlement possible les conditions de jeu et d'offrir aux développeurs un avis extérieur réaliste et subjectif sur le gameplay qu'ils conçoivent. Cependant, une manière directement rentable d'obtenir un avis extérieur consiste à remplacer le joueur par un algorithme doué d'un minimum d'autonomie, et d'observer son comportement. Un algorithme n'aura pas d'avis subjectif sur le plaisir de jouer et laissera de côté de nombreux aspects perceptifs. Mais si son champ d'application reste limité, le test automatique de gameplay grâce à une intelligence artificielle permet de rechercher certaines incohérences à moindre frais et aussi souvent que l'équipe le désire.

Ce type de tests intéresse tout particulièrement la recherche et plusieurs études décrivent des résultats encourageants. Tout d'abord, la réalisation d'un joueur synthétique est un problème d'intelligence artificielle intéressant : le jeu vidéo est un monde simulé où il est facile de fixer le nombre de variables observables et la complexité de la tâche. Certains jeux vidéo, comme ceux de stratégie temps réel, ont un espace d'actions et d'états particulièrement important et le développement d'une IA dans ce contexte est particulièrement intéressant. De nombreuses études concernent par exemple le développement d'une IA capable de jouer à Pacman (Namco) grâce à des techniques d'apprentissage [Bonet 01], [Lucas 05], [Gallagher 03], [Gallagher 07], [Szita 07], à Tetris (Nintendo) [Szita 06] ou au Tic Tac Toe [Soedarmadji 06].

Certaines recherches d'intéressent tout particulièrement à l'exploitation de ces techniques pour l'évaluation d'un gameplay. Neil Kirby, des laboratoires Bell, a étudié le gameplay du démineur et du sudoku [Kirby 08]. L'auteur a remplacé le joueur par une IA dont les règles de résolution sont classées par ingéniosité croissante. Une analyse du comportement de l'IA lors de la résolution de grilles a permis de montrer que la proportion d'utilisation des règles très basiques était plus importante qu'on aurait pu le prévoir de manière intuitive. Southey et al ont étudié le gameplay de FIFA 99, et utilisé une IA pour évaluer la probabilité de marquer un but dans un certain nombre de scénarios pré définis [Southey 05]. Nantes et al ont mis au point une IA capable de tester des problèmes de rendu graphique, ici d'aliasing dans les ombres, de manière automatique [Nantes 08]. L'avantage de développer un joueur synthétique consiste à pouvoir étudier son approche directe du gameplay, un fois défini une

interface entre le moteur de jeux et ce joueur synthétique [Aha 04].

Certaines techniques d'analyse systématique d'un jeu vidéo peuvent également s'appuyer sur des représentations formelles du gameplay. De nombreuses études ont été réalisées sur la formalisation du scénario d'un jeu vidéo, présentées dans la section 2.2.3. L'intérêt d'un tel modèle réside en partie dans l'analyse automatique de propriétés qu'on peut lui appliquer. Champagnat et al proposent ainsi d'étudier directement l'impartialité (équilibre entre les chances de réussites des différents joueurs), la complexité (vitesse minimale de résolution) et le niveau de concurrence (confrontations entre le joueurs) d'un scénario, définit grâce à une représentation sous forme de logique linéaire, traduite en réseau de pétri et soumise ainsi à des tests de propriétés. Nelson et Mateas proposent de nombreuses caractéristiques d'évaluation d'un graphe de scénario [Nelson 05].

Les recherches en analyse systématique de gameplay montrent donc qu'il est possible d'étudier la difficulté d'un gameplay au moyen d'une analyse automatique. Aucune des ces recherches n'est allé jusqu'à construire la courbe de difficulté d'un gameplay à partir de telles méthodes. Il serait également intéressant d'appliquer ces méthodes à un jeu commercial connu et tenter de vérifier si des problèmes d'équilibrages peuvent être facilement mis en évidence, ce à quoi nous nous attacherons dans une section consacrée à des expériences préliminaires.

2.4 Synthèse

Nous avons tout d'abord étudié les définitions générales du jeu. Nous retenons du travail de ces théoriciens que le jeu est une activité libre qui demande un effort au joueur. Cet effort librement consenti doit donc être particulièrement utile, puisqu'il serait facile à supprimer en modifiant les règles. Cette première étape montre que la difficulté, définie comme l'effort du joueur pour atteindre un objectif donné, est un composant essentiel du jeu et mérite une étude approfondie.

Nous nous sommes ensuite focalisés sur l'évolution de la difficulté dans les jeux vidéo. En effet, les capacités du joueur sont en perpétuelle évolution, et le gameplay doit donc évoluer pour maintenir le niveau de difficulté choisi, ce qui nous a amené à préciser les concepts de courbe de difficulté *absolue* et *relative*. Nous avons ensuite étudié de quelle manière un game designer pouvait construire cette courbe de difficulté, au moyen d'un scénario ou de procédures d'équilibrage dynamique. Ces deux techniques donnent deux pistes principales quand à la réalisation d'un outil de mesure de la difficulté : permettre au game designer d'encoder facilement son scénario et de l'annoter de ces intentions en terme de difficulté, et offrir un système de mesure capable d'évaluer précisément le comportement du joueur lors des phases de jeu plus émergentes.

Finalement, nous nous sommes intéressés aux différentes techniques de mesure déjà uti-

lisées dans l'industrie et la recherche, afin de guider l'élaboration de notre propre technique. Nous pouvons principalement retenir que les tests effectués en conditions réelles, en plus d'être indispensable tant le game design reste un processus itératif et subjectif, seront de plus en plus accessibles grâce à l'accès du plus en plus évident des jeux à un mode connecté. Notre système pourra et devra donc d'appuyer sur des tests en conditions réelles. Toutefois, l'analyse systématique permet un regard supplémentaire et particulier sur un gameplay en cours d'élaboration, et ces techniques méritent également d'être explorées.

Nous avons jusqu'ici défini la difficulté comme un effort, et montré de quelle manière cet effort était construit tout au long du jeu. Dans le prochain chapitre, nous proposons une définition typologique de la difficulté des jeux vidéo, de manière à décrire plus précisément les différents aspects de l'effort produit par le joueur. Cette typologie a pour but d'apporter une grille d'analyse des gameplay, qui permette aux game designers d'identifier plus précisément les capacités dont un joueur doit faire preuve pour atteindre ses objectifs.

Chapitre 3

Les différentes formes de difficulté

Nous avons défini dans un premier temps la difficulté comme l'effort que doit fournir le joueur pour atteindre ses différents objectifs. Cette première définition est générale, et peut être complétée d'une étude plus précise des différents types de difficulté auxquelles le joueur est soumis dans la plupart des jeux commerciaux produits actuellement. Une meilleure définition de l'effort fourni par le joueur peut s'avérer utile pour tout game designer. Comprendre les différentes formes de difficulté peut aider ce dernier à manipuler à sa guise la difficulté du jeu qu'il conçoit.

Il existe plusieurs typologies des jeux vidéos [Rollings 03] [Crawford 84]. L'étude des principaux types de jeux vidéo nous a amené à extraire trois dimensions de difficulté : la difficulté *sensorielle*, la difficulté *logique* et la difficulté *motrice*. Non seulement ces dimensions correspondent au principaux types de jeux vidéo, mais elles peuvent également être rapprochées des modèles de traitement de l'information proposés en psychologie cognitive. Que le modèle de traitement de l'information postulé décrive une suite de stages discrets [Sternberg 69] ou de processus parallèles [McClelland 79], on peut considérer que le traitement de l'information débute par une analyse du stimulus, suit de plusieurs opérations mentales et terminé par l'exécution d'une réponse. Ce modèle général est par exemple utilisé pour créer des tâches plus ou moins difficiles en éducation physique et sportive [Temprado 93], avec un *versant perceptif*, un *versant décisionnel* et un *versant moteur*. Comme nous le verrons dans cette section, ces trois phases de traitement de l'information sont pertinentes dans le cadre de l'étude de la difficulté d'un jeu vidéo, et correspondent chacune aux difficultés sensorielles, logiques et motrices.

Dans les sections suivantes, nous décrivons les différentes dimensions de difficulté, en débutant à chaque fois par l'analyse d'un type de jeu qui illustre particulièrement chacune de ces dimensions.

3.1 Difficulté sensorielle - Les jeux d'aventure

Andrew Rollings et Ernest Adams définissent les jeux d'aventure comme « *Une histoire interactive à propos d'un personnage contrôlé par le joueur* » [Rollings 03]. Toujours selon ces auteurs, les jeux d'aventure partagent les caractéristiques communes d'exploration, de collecte et de manipulation d'objets, proposent des puzzles à résoudre et attribuent une importance moindre aux scènes d'action ou de combat. *Indiana Jones et le destin de l'Atlantis* est un exemple célèbre de jeu d'aventure (Figure 3.1), du type **point and click**¹. Le joueur modifie les objets du jeu au travers d'une interface simple, sans aucune contrainte de temps. La difficulté de ce jeu, et des jeux d'aventure en général, n'est pas de faire, mais de savoir quoi faire. Dans *Indiana Jones*, par exemple, le joueur passe le plus clair de son temps à *scanner* l'écran avec sa souris à la recherche d'un objet avec lequel il puisse interagir. En effet, la plupart du décor du jeu est inerte, à l'exception de certains éléments que le joueur peut manipuler : le plus souvent un objet à ramasser et à utiliser ailleurs. La progression du jeu est ainsi rythmée de *puzzles*, c'est à dire d'énigmes plus ou moins logiques dans lesquelles le joueur doit combiner les bons objets pour supprimer un obstacle.



FIGURE 3.1 – *Indiana Jones et le destin de l'Atlantis* (Lucas Art)

La difficulté du jeu ne dépend donc pas de la précision du joueur ou de ses capacités motrices : il lui suffit de savoir pointer et cliquer pour pouvoir jouer. Elle dépend très peu de ses capacités d'inférence : la solution des énigmes repose souvent sur des actions inattendues et surprenantes (voir la série des *Monkey Island* (Lucas Art)) et le joueur progresse avant tout en essayant ce qui semble possible. Les conséquences de ces actions sont immédiates et bien souvent seule la bonne action a un impact sur l'univers du jeu. Son objectif consiste donc principalement à découvrir où se cachent les objets manipulables, l'obstacle qu'ils permettent de supprimer et leur mode d'utilisation : la clef à molette permet de démonter le radiateur, derrière lequel était cachée la clef qui ouvre la porte. Si le joueur dispose de ces informations, alors le jeu devient enfantin, il lui suffira de cliquer au bon endroit et dans le bon ordre. En

1. Jeu d'aventure dans lequel l'activité principale du joueur consiste à cliquer à l'écran pour interagir.

effet, l'objectif du joueur dans un jeu d'aventure consiste à vivre l'aventure écrite pour lui par des scénaristes. Une aventure intéressante est souvent riche en rebondissements. Le joueur doit sans cesse découvrir de nouveaux objets, lieux, personnages dont il ne soupçonnait pas l'existence : une aventure entièrement prévisible est rapidement monotone. Son effort est donc principalement orienté vers l'exploration, la découverte de nouvelles informations à propos de l'univers du jeu. Les jeux d'aventure mettent donc en relief une première dimension de la difficulté des jeux vidéo : l'effort fourni pour découvrir les objets du jeu et leurs propriétés.

- **Difficulté sensorielle** : La difficulté sensorielle décrit l'effort que doit fournir le joueur pour obtenir des informations nouvelles et pertinentes sur l'état de l'univers du jeu. Par informations nouvelles, on entend toute information que le joueur ne peut pas déduire des faits et règles logiques qu'il connaît déjà.

Dans un jeu d'aventure, la complexité sensorielle est donc très importante. Le joueur doit explorer un environnement dont il ne connaît rien, pour y découvrir des objets et des actions définies arbitrairement par les designers. Bien sûr de nombreux jeux d'aventure peuvent proposer des énigmes logiques et des épreuves de dextérité pure, mais la principale difficulté réside bien souvent dans l'information que le joueur doit découvrir en explorant l'univers.

La complexité sensorielle peut être mise en parallèle avec le versant perceptif des modèles de traitement de l'information. Lorsque le joueur doit fournir un effort pour enrichir sa connaissance des propriétés des objets du jeu afin d'élaborer une réponse, alors la complexité sensorielle est importante. La lecture de l'état du jeu peut être complexifiée de plusieurs manières. La situation présentée à l'écran peut être par exemple plus ou moins lisible. Certains jeux, comme les *Shoot'em up* par exemple (Figure 3.2), utilisent une abondance d'effets graphiques pour noyer l'information utile sur l'état du jeu parmi un flot d'information graphique. Même sans contrainte temporelle, la situation reste complexe à décrypter, l'affichage est ponctué d'explosions où l'on distingue alors à peine les objets du jeu. Dans l'exemple de la figure 3.2, l'embrouillage est renforcé par un monde entièrement réalisé en trois dimensions mais où le joueur suit un parcours prédéfini semblable à celui d'un véhicule de montagnes russes, ce qui noie le joueur dans un environnement sensoriellement déroutant. De la même manière, dans Collin McRae Dirt, la poussière des autres véhicules et le point de vue du joueur limitent ses capacités de lecture de l'univers du jeu. A l'autre extrême, une grille de sudoku ou un échiquier sont une représentation efficace et lisible de l'univers du jeu.

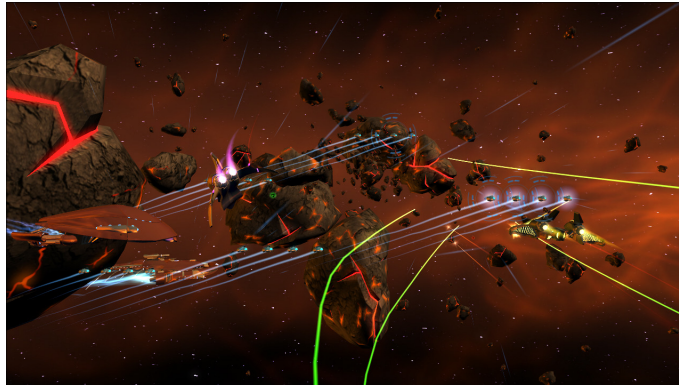


FIGURE 3.2 – Aces of The Galaxy (Artech Studios - Sierra)

La complexité sensorielle peut également s'envisager sur une échelle de temps bien plus importante. Dans un jeu d'aventure, le joueur est souvent plongé dans un univers en vue subjective dont il ne sait que très peu de choses et qu'il va devoir explorer. S'il veut acquérir des informations, il va devoir se déplacer, s'orienter dans l'espace. La présence de points d'ancrage visuels et certaines propriétés de la topologie du niveau² peuvent l'aider à s'orienter ou au contraire le dérouter. Si le joueur dispose d'une vue aérienne comme dans la plupart des RTS, sa vision des objets du jeu est plus efficace et la lecture de l'état du jeu plus évidente.

La complexité sensorielle est donc particulièrement difficile à mesurer. On pourrait fournir différentes métriques, comme le *niveau d'embrouillage de la scène* qui correspondrait au niveau d'information perturbatrice affichée à l'écran, à la *distance moyenne* entre le joueur et les différents objets du jeu dont il doit évaluer les propriétés pour être en mesure d'atteindre un objectif donné ainsi que la *lisibilité* de ces différents objets, c'est à dire leur niveau de contraste par rapport au reste de la scène. Dans les jeux d'aventures, les objets utiles de l'univers sont par exemple souvent éclairés d'une façon particulière pour permettre au joueur de les distinguer. Ces métriques apporteraient une information sur la difficulté, mais un lien direct entre cette information et la difficulté réellement ressentie par le joueur sera sûrement complexe à établir, tant le nombre de capacités cognitives qu'implique la complexité sensorielle est important : capacité d'orientation, mémoire, perception, ainsi que l'ensemble des biais et habitudes propres aux joueurs.

2. intersection à angle droits, symétrie par exemple.

3.2 Difficulté logique - Les jeux de stratégie

Chris Crawford définit les jeux de stratégie comme « *mettant l'accent sur la réflexion plus que sur l'action.* » [Crawford 84]. Entre autres définition plus militaires, le Larousse définit la *stratégie* comme « *Art de coordonner des actions, de manoeuvrer habilement pour atteindre un but* ». La caractéristique principale des jeux de stratégie concerne la difficulté de prévoir l'impact des actions du joueur. Dans un jeu d'action, l'impact des actions du joueur est clair et immédiat. Mais dans un jeu de stratégie les actions du joueur se répercutent sur l'univers du jeu en suivant une chaîne complexe de relations causes-conséquences, ce que Chris Crawford définit comme un *raisonnement séquentiel* [Crawford 03]. Le jeu de go est un exemple de jeu de stratégie par excellence. Lorsqu'un joueur pose une pierre sur le goban (le plateau de jeu), ce n'est pas uniquement pour l'effet immédiat qu'elle produit, mais pour imposer une direction à son jeu, parce qu'il a pour objectif de contrôler certaines zones et cherche à renforcer certains groupes de pierres. La valeur immédiate de ses coups, sans tenir compte de leur impact sur la suite du jeu, est d'ailleurs pratiquement toujours nulle. Excepté si le joueur capture un groupe de pierres, il ne marque aucun point en posant une pierre. Ce n'est qu'à la fin du jeu, lorsque les territoires sont délimités, que les points sont attribués et qu'une action révèle alors de manière certaine son impact global.



FIGURE 3.3 – Heroes of Might and Magic 3 (The 3DO Company)

La plupart des jeux vidéo de stratégie placent le joueur à la tête d'une armée, à l'instar de Heroes of Might and Magic (Figure 3.3). Cette armée a des capacités de production, consomme des ressources, peut produire des unités aux capacités défensives ou au contraire à utiliser pour assaillir l'ennemi. Le joueur doit prendre des décisions sur la nature de l'armée qu'il construit : quels types d'unités produire, et donc quels types de ressources récolter et quels bâtiments construire pour atteindre cet objectif ? Une fois que suffisamment d'unités d'assaut ont été construites, où et quand attaquer ? Chacun de ces choix est plus ou moins irrémédiable et influence l'ensemble de la partie. Heroes of Might and Magic est particulièrement représentatif de ce type de jeu car il se joue en tour par tour, ce que Rollings et

Adams considèrent comme une caractéristique de la version canonique du jeu de stratégie [Rollings 03]. De cette manière, chaque joueur dispose du temps qu'il souhaite pour effectuer ses actions et modifier les objets du jeu auquel il a accès. Ces modifications se font au travers d'une interface la plus claire et efficace possible, l'objectif n'est pas de tester le joueur sur ses capacités de manipulation. La rapidité du joueur reste quand même importante : même si son temps de réflexion n'est pas théoriquement borné, il l'est dans les faits et le joueur doit prendre des décisions en évaluant différentes options. Plus il est rapide, plus il considérera d'options et pourra échafauder une stratégie complexe. Mais dans l'archétype du jeu de stratégie, l'exécution de cette stratégie est facilitée au maximum et ne doit pas constituer un obstacle.



FIGURE 3.4 – Starcraft (Blizzard)

De nombreux jeux de stratégie reprennent ce principe de base pour y ajouter une composante de type action : les *jeux de stratégie temps réel*, dont Starcraft est un exemple particulièrement brillant (Figure 3.4). Comme leur nom l'indique, ces jeux évaluent toujours les capacités stratégiques du joueur, mais avec une contrainte de temps forte : les deux joueurs jouent en même temps, et non pas l'un après l'autre. De cette manière, leur capacité à manipuler rapidement et précisément les différents objets du jeu devient primordiale. En effet, ces jeux placent souvent le joueur dans le rôle d'une entité à la tête d'un peuple ou d'une armée, avec la possibilité de manipuler par exemple chaque citoyen ou chaque soldat. Pour faciliter ces manipulations, ces objets disposent d'une certaine autonomie : le joueur peut attribuer une tâche à un groupe d'objets en leur laissant la charge de s'occuper des détails. Typiquement, lorsque qu'un groupe d'unités militaires doit se déplacer d'un point à un autre de la carte, le joueur sélectionne ce groupe et clique sur sa destination. Les unités disposent alors de comportements autonomes : elles décident par exemple elles même du chemin à emprunter ou de la formation à adopter. Mais un bon joueur de jeu de stratégie temps réel se distingue en partie par sa capacité à *micromanager* ses unités. Dans l'exemple précédent, il constituera sûrement des sous groupes d'unités auquel il attribuera des objectifs différents, et surveillera le chemin emprunté pour le corriger au fur et à mesure en allant

même jusqu'à modifier la position de certaines unités pour augmenter leur efficacité, ou éviter par exemple que l'adversaire ne les remarque. L'efficacité du joueur à micromanager ses unités dépend de sa maîtrise de l'interface, de sa capacité à exécuter des actions rapidement et précisément. Starcraft propose par exemple un très grand nombre de raccourcis clavier pour la plupart des commandes effectuées avec la souris, offrant ainsi à un joueur motivé la capacité d'augmenter encore sa vitesse et sa précision.

Mais même si certains jeux de stratégie sont enrichis de composantes de type action, l'essence même de ce type de jeu sollicite avant tout les capacités d'inférence du joueur. Cet effort est tout d'abord déductif : le joueur applique les règles logiques qui gouvernent le comportement du jeu pour trouver l'action la plus efficace à exécuter. Si le joueur était capable de suites de déductions aussi interminables qu'instantanées, il pourrait, à partir des simples règles du jeu, qui régissent le comportement de chaque objet du jeu, prévoir l'ensemble des dénouements possibles pour chacun de ses choix, et choisir ainsi l'action la plus efficace. A partir règles et d'une immense capacité déductive, le joueur pourrait jouer très efficacement. Mais la complexité des jeux de stratégie est conçue pour être bien trop importante pour que ce simple fonctionnement déductif soit possible. Si les règles du jeu sont en apparence basique, à l'instar du jeu de go par exemple, il existe tellement de situations possibles qu'il est impossible de les envisager toutes pour trouver la solution optimale. En plus de capacités déductives, c'est à dire d'être capable d'utiliser une base de faits et de règles pour déterminer la conclusion qui s'impose, le joueur doit également faire preuve de capacités d'abstraction, être d'être capable d'induire de nouvelles règles, heuristiques, qui lui permettent de progresser plus rapidement vers une solution intéressante.

L'effort du joueur est donc également inductif. Le joueur doit en effet être capable, à partir de l'observation de multiples faits, d'induire les règles générales qui gouvernent l'évolution du jeu, ce que Salen et Zimmerman appellent le niveau de choix *macro* [Salen 03]. Pour pouvoir jouer efficacement, le joueur doit être capable de comprendre le fonctionnement du jeu à un niveau plus abstrait que celui des interactions locales entre objets du jeu. Il doit se construire une base de règles logiques qui ne portent pas sur le comportement basiques de simples soldats, mais sur l'impact général d'une troupe de ces soldats : ce qu'il lui coûte de les construire, leur impact sur la direction générale du jeu, étant donné le contexte général actuel. Le joueur doit être capable, à partir de la multitude de faits extrêmement localisés qu'il constate, de regrouper ces faits de manière pertinente et d'en induire de nouvelles règles. Ce niveau d'abstraction n'est pas fourni par les règles du jeu, et constitue l'intérêt principal d'un jeu de stratégie : la plupart des discussion d'un forum internet au sujet de Starcraft (Figure 3.4), par exemple, concerne cet objectif du joueur : comprendre quel comportement général adopter face à tel autre comportement général pour être en mesure de remporter la victoire.

Les jeux de stratégies sollicitent donc avant tout les capacités d'inférence du joueur, à la fois sa capacité à induire, de sa perception de l'environnement, des règles qui décrivent

le fonctionnement de l'univers du jeu, ainsi que de sa capacité à déduire, à partir de sa perception du jeu et des règles qu'il connaît, la meilleure action à effectuer. Ces aspects du raisonnement du joueur constituent la difficulté logique du jeu.

- **Difficulté logique** : La difficulté logique décrit l'effort que doit fournir le joueur pour exploiter les informations dont il dispose, c'est à dire comprendre le fonctionnement de l'univers par induction, et choisir la prochaine action à effectuer par déduction.

La difficulté logique modifie principalement la durée du versant décisionnel du modèle de traitement de l'information. Elle augmente le nombre de déductions nécessaires pour parvenir à un résultat, à partir des connaissances qu'a le joueur des objets du jeu et de leur fonctionnement, et l'oblige soit à déduire plus longuement, soit à se construire des heuristiques pour raccourcir efficacement son raisonnement.

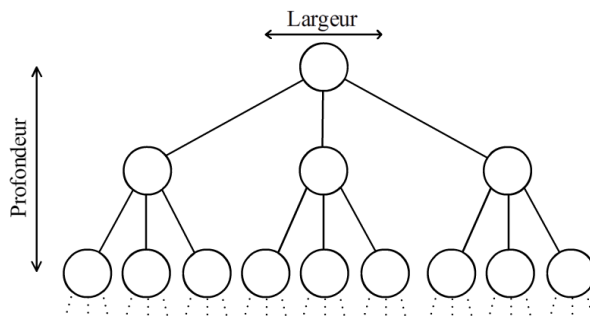


FIGURE 3.5 – Arbre de jeu

On pourrait décrire en partie la complexité logique comme la taille du raisonnement déductif que le joueur doit effectuer pour aboutir à la bonne décision. Un arbre de jeu (Figure 3.5) représente bien ce raisonnement : le nombre de mouvements possibles à chaque coup (la largeur), le nombre de coups à considérer (la profondeur), et le nombre de chemins amenant à une solution constituent des métriques intéressantes de la complexité logique. A ce titre, la complexité logique du Go est par exemple plus importante que la complexité des échecs (voir section 3.2).

Cependant, une telle métrique ne prend pas en compte la facilité avec laquelle le joueur peut se construire des heuristiques. Pour n'importe quel raisonnement, le joueur n'envisage jamais séquentiellement l'ensemble des possibilités. Certains théoriciens considèrent même que tout raisonnement est fondamentalement biaisé par des heuristiques émotionnelles, comme le neuropsychologue Antonio Damasio avec sa théorie des marqueurs somatiques [Damasio 94]. Une mesure de la complexité logique basée sur la largeur et la profondeur d'un arbre de jeu ne reflète pas complètement la difficulté logique d'un jeu. Il serait tout aussi important de comprendre l'effort nécessaire pour construire des heuristiques efficaces.

3.3 Difficulté motrice - Les jeux d'actions

La première des catégories qu'Andrew Rollings et Ernest Adams définissent est celle des *jeux d'action*, dont *Doom* est un exemple particulièrement éloquent (Figure 3.6) [Rollings 03]. Chris Crawford débute également sa taxonomie des jeux par ce type qu'il nomme jeu d'habileté / action [Crawford 84].



FIGURE 3.6 – Doom (Id Software)

Les auteurs identifient ce type de jeu comme celui des premiers jeux d'arcade, avec des règles très simples. Ils le qualifient de crispant³ et le définissent directement en fonction du type d'aptitude testé : « *Les aptitudes clés testées par le gameplay sont le temps de réaction et la coordination occulo-manuelle* ». Ces jeux demandent au joueur d'exécuter des tâches simples, mais à un rythme soutenu. Chris Crawford, game designer, identifie ce type de challenges comme *sensori moteurs* [Crawford 03].

Ce premier type de jeu semble donc particulièrement lié à la notion de difficulté puisque sa définition se base principalement sur le type d'effort demandé au joueur : vitesse et précision. L'objectif du joueur n'est pas d'échafauder des raisonnements complexes, en anticipant le déroulement du jeu à long terme. Il dispose d'un certain nombre de comportements simples, de suites d'actions à exécuter dans certains états du jeu, et son objectif consiste à reconnaître le plus rapidement possible les actions correspondant à l'état courant, puis à les exécuter le plus vite possible et sans erreur.

Par exemple le jeu Doom, qui parmi les jeux d'actions, se classe dans la catégorie reine des *jeux de tir en vue subjective*, place le joueur derrière une arme quelconque et l'envoie promener dans des couloirs toujours plus sombres, habités de créatures démoniaques et autres zombies. Les actions sont simples, il faut viser, tirer, ramasser de quoi tirer, et de temps en temps, trouver de quoi ouvrir une porte. L'objectif consiste à tirer sur tout ce qu'on peut rencontrer au détour des couloirs.

3. « *twitch game* »

On peut bien sûr isoler des éléments de Doom qui n'appartiennent pas à la définition que nous venons de faire des jeux d'action. Par exemple, lorsque le joueur échoue et recommence une partie du jeu, il a mémorisé la position de certains des ennemis qu'il a rencontré et peut alors élaborer une stratégie à plus long terme. Il ne s'agit alors plus uniquement de réagir rapidement, mais aussi, grâce à la connaissance acquise, de prévoir l'apparition des obstacles et donc d'élaborer un comportement qui maximisera les chances de réussite. De même, dans Doom, le joueur passe souvent du temps à chercher son chemin ou à trouver un passage secret dont il a entendu le son caractéristique, mais dont il ne connaît pas la position exacte. Il ne s'agit plus alors de tester ses réflexes, mais sa capacité à s'orienter dans un labyrinthe, ou à fouiller méthodiquement un espace. Cependant, si ces éléments de jeu enrichissent le **gameplay**⁴ de Doom, ils peuvent être considérés comme secondaires. D'un point de vue plus général, ces éléments de gameplay ne font pas partie des propriétés qu'on attribue au prototype du jeu d'action : rapidité de réaction et précision d'exécution.

Les jeux d'actions mettent en évidence une dimension supplémentaire de la difficulté d'un jeu vidéo. Dans n'importe quel jeu, le joueur dispose d'actions pour interagir avec l'univers du jeu, et les règles du jeu peuvent être plus ou moins exigeantes vis à vis de l'exécution de ces actions. Déplacer une pièce d'un jeu d'échec est trivial et ne fait pas partie du jeu à proprement parler, on peut même jouer aux échecs par l'intermédiaire d'un avatar chargé de ces manipulations. Dans un jeu d'action, l'accent est justement mis sur la manipulation.

- **Difficulté motrice** : La difficulté motrice décrit le niveau de précision spatiale et temporelle dont le joueur doit faire preuve lorsqu'il exécute une action.

La complexité motrice sollicite principalement le versant moteur du modèle de traitement de l'information. Marquer un panier à trois points au basket est principalement basé sur une complexité motrice. Le joueur sait qu'il doit imprimer une force et une direction à la balle pour qu'elle atterrisse dans le panier, mais la réalisation du bon geste demande un dosage d'une grande précision. Plus le joueur doit fournir d'effort pour effectuer ses actions dans l'univers du jeu et plus la complexité motrice est importante. Dans un jeu de billard, il y'a une grande différence entre décider de la trajectoire optimale d'une boule et lui imprimer effectivement cette trajectoire. Dans un First Person Shooter, le joueur sait que viser la tête est plus efficace que viser le torse, mais la première est plus petite que le second, et y placer précisément un curseur de visée à l'aide de la souris est bien plus difficile. En utilisant un *robot de visée*⁵ qui ajuste précisément les tirs du joueur, la complexité motrice diminue considérablement.

4. Rollings et Adams définissent le gameplay de la façon suivante : *Les challenges, ainsi que les actions que le joueur peut entreprendre pour les réussir, constituent le gameplay. D'une manière plus large, on peut considérer le gameplay comme ce que fait le joueur lorsqu'il joue, c'est à dire le type de problèmes qui lui sont posés et la manière dont il les résout.*

5. aim-bot

Une métrique de cette complexité pourrait être la *précision* temporelle et spatiale demandée au joueur, c'est à dire le rapport entre les valeurs acceptées et la plage globale de valeurs à laquelle le joueur a accès grâce aux périphériques d'entrée. On pourrait mesurer par exemple l'évolution du taux de réussite de différents joueurs en fonction de la précision demandée pour obtenir une mesure statistique de la complexité motrice d'une action.

3.4 Synthèse des différentes dimensions de difficulté.

Dans les sections précédentes, nous avons mis en évidence trois types de difficulté, et élaboré une définition pour chacun de ces types :

- **Difficulté sensorielle** : La difficulté sensorielle décrit l'effort que doit fournir le joueur pour obtenir des informations nouvelles sur l'état de l'univers du jeu. Par informations nouvelles, on entend toute information que le joueur ne peut pas déduire des faits et règles logiques qu'il connaît déjà.
- **Difficulté logique** : La difficulté logique décrit l'effort que doit fournir le joueur pour exploiter les informations dont il dispose, c'est à dire comprendre le fonctionnement de l'univers par induction, et choisir la prochaine action à effectuer par déduction.
- **Difficulté motrice** : La difficulté motrice décrit le niveau de précision spatiale et temporelle dont le joueur doit faire preuve lorsqu'il exécute une action.

Nous proposons de résumer les différentes dimensions de difficulté dans le tableau 3.7. Pour pouvoir agir, le joueur doit construire un modèle de l'univers et l'exploiter pour prendre sa décision. Ce modèle peut être considéré comme une base de faits et de règles. Les faits décrivent les propriétés des objets du jeu que le joueur a pu observer, comme par exemple la position d'un objet à un instant donné, et la difficulté sensorielle régit l'effort que le joueur doit fournir pour les découvrir. Les règles décrivent les implications de cause à effets entre différents faits et actions : tirer sur un objet le détruit, manger un champignon fait grandir. Ces règles sont construites par induction, ainsi que par toute source d'information extrinsèque, comme la notice d'explications ou un forum internet consacré au jeu en question. Lorsque le joueur construit ces règles, il donne sens aux faits qu'il a observés et découvre comment interagir avec l'univers du jeu. Le joueur exploite ensuite son modèle du jeu, c'est à dire faits et règles, pour déduire l'action qu'il convient d'effectuer. La difficulté logique régit l'effort que doit fournir le joueur pour construire ces inductions et déductions. Il ne lui reste plus qu'à appliquer l'action choisie, en respectant les contraintes d'exécution qui lui sont propres. Ce cycle se répète indéfiniment : une fois l'action exécutée, l'univers du jeu va se trouver modifié en conséquence, et le joueur va pouvoir constater de nouveaux faits, qui

Dimensions de difficulté	Sensorielle	Logique	Motrice
Versant	Perception	Réflexion et décision	Action
Tâches du joueur	Explorer l'univers du jeu alimenter la base de faits qui le décrivent.	Induction de nouvelles règles à partir de la base de faits. Exploitation des règles et faits pour déduire l'action à effectuer.	Exécuter l'action en respectant les contraintes spatio- temporelles

FIGURE 3.7 – Dimensions de difficulté.

vont lui permettre d'alimenter sa structure logique, qu'il exploitera à nouveau pour choisir une nouvelle action, qu'il exécutera, et ainsi de suite.

Cette première section nous a permis d'étudier trois grands types de jeux vidéo, et de définir ainsi différentes manifestations de la difficulté d'un jeu vidéo. Il existe cependant de nombreux autres types de jeu, qu'il est intéressant d'étudier afin de vérifier si les trois dimensions précédentes permettent de décrire efficacement et de manière pertinente la difficulté de n'importe quel gameplay.

3.5 Etude de sous types

Dans la section précédente, nous avons abordé les plus grandes catégories de jeux vidéo. Il existe de nombreux autres sous types de jeux, détaillés par exemple par Adrew Rolling et Ernest Adams [Rollings 03]. Ces sous catégories empruntent aux types que nous avons défini précédemment, et devraient donc se soumettre facilement à une description en fonction des trois dimensions vues précédemment. A titre d'exemple, nous allons étudier quelques exemples de jeux appartenant à certaines des ces sous catégories.

3.5.1 Collin McRae Dirt



FIGURE 3.8 – Collin McRae Dirt (Codemasters)

Collin McRae Dirt (Figure 3.8) est un jeu de *sport*, plus précisément de *simulation de véhicules*. C'est une simulation car le comportement des véhicules est voué à se rapprocher le

plus possible d'un comportement réel, par exemple en terme d'adhérence, de maniabilité, de puissance ou de dégâts en cas de choc. Rollings et Adams étudient les simulations de véhicule dans une catégorie particulière, ce qui se justifie étant donné le nombre de jeux appartenant strictement à cette catégorie. Mais dans le cadre de notre étude, ce type de jeu n'apporte pas de précisions supplémentaires au regard de la difficulté, il est entièrement possible de les décrire en fonction des trois dimensions proposées précédemment :

- Complexité sensorielle : forte
- Complexité logique : faible
- Complexité motrice : forte

La difficulté de ce type de jeu repose principalement sur plusieurs aspects. Tout d'abord, le joueur doit être capable de percevoir la vitesse de son véhicule, la distance qui le sépare d'un virage ou d'un obstacle, la courbure de la route, le tout au travers de la poussière que projettent ses concurrents, avec une caméra difficilement manipulable et dans un temps très court.

Ensuite, le joueur doit élaborer une base de règles qui décrit le comportement de son véhicule. Les designers ont en effet créé un modèle physique pour cette voiture qui n'est documenté nulle part, et le joueur doit découvrir à quelle vitesse il peut aborder chaque type de virage sur chaque type de revêtement. Il existe bien sur une logique générale, le joueur s'attend à une adhérence plus réduite sur terre que sur bitume, mais il va devoir se confronter à de nombreux virages avant d'être capable d'anticiper le comportement de la voiture et de pouvoir réagir en conséquence.

Finalement, le joueur doit être capable de déclencher une action à un moment précis, avec une valeur précise (dans le cas d'un contrôleur analogique), et de réaliser des actions différentes en parallèle, comme changer de vitesse tout en freinant et en maintenant le volant dans une position précise.

Dans ce type de jeu, les difficultés sensorielles et motrices sont donc importantes. Nous considérons que la difficulté logique reste faible : la base de règles que se construit le joueur est limitée, de même que les nombre de déductions successives qu'il effectue. Si le joueur disposait d'une vision totale de l'univers du jeu et pouvait exécuter ses actions avec la précision et le timing voulu, c'est à dire si nous annulions les difficultés sensorielles et motrices, alors le joueur comprendrait très rapidement, pour chaque type de situation, la valeur exacte à appliquer pour obtenir une trajectoire optimale, et le jeu n'aurait plus aucun intérêt. La difficulté réside dans le fait que le joueur dispose de peu d'informations sur l'état du jeu, et que ses actions doivent être particulièrement précises temporellement et spatialement.

3.5.2 Everest Poker



FIGURE 3.9 – Everest Poker (Everest Gaming)

Le jeu de poker est un exemple intéressant. Les règles de ce jeu de cartes sont simples, le nombre d'actions très limité : relancer, suivre ou se coucher. A chaque tour des jetons sont misés et emportés par la meilleure main. Si un joueur perd tous ses jetons il meurt, l'objectif étant d'être le dernier en lice. Les mains distribuées aux joueurs sont issues d'un jeu battu en permanence et donc leur capacité d'action à chaque tour repose en partie sur la « chance ». Néanmoins, les probabilités sont les mêmes pour tout le monde, et la qualité d'un joueur de poker dépend d'un tout autre facteur : sa capacité à construire un modèle de ses adversaires.

En début de partie, le joueur n'a aucune information sur les autres joueurs mais au fur et à mesure, il va pouvoir déduire qui a une tendance agressive et bluffe souvent, qui relance uniquement sur une bonne main, qui se laisse emporter, qui n'a toujours pas compris les règles et reste totalement stochastique. Le poker est donc avant tout un jeu de recherche d'information, d'où la célèbre expression « *je paie pour voir* » du joueur qui n'a aucune idée du jeu de son adversaire mais qui suit (et donc paie) uniquement pour acquérir de l'information. Bien sûr pour acquérir ces informations, le joueur met au point des stratégies, tend des pièges, puis utilise ensuite ces informations pour élaborer une stratégie encore plus complexe. La complexité est donc également logique. On peut donc décrire le poker en fonction des dimensions de complexité :

- Complexité sensorielle : forte
- Complexité logique : moyenne
- Complexité motrice : faible

L'importance de la complexité sensorielle explique par exemple pourquoi les joueurs habitués à jouer sur le net peuvent avoir beaucoup de mal à jouer autour d'une vraie table :

si le jeu est à priori le même, l'interface n'a rien à voir, et les stratégies de découverte d'informations sur les autres joueurs sont alors différentes. Comme le jeu repose avant tout sur les informations qu'un joueur laisse filtrer et récupère sur ces adversaires, jouer autour d'une vraie table ou derrière un ordinateur sont deux gameplays très différents

3.5.3 SimCity 3000



FIGURE 3.10 – SimCity 3000 (EA Games)

SimCity (Figure 3.10) appartient à un autre genre de jeu de simulation, que Rollings et Adams nomment « *simulations de gestion et de construction* ». Dans SimCity, le joueur est maire d'une ville, et supervise tout son développement depuis le choix du terrain où s'installer jusqu'à la répartition entre zones commerçantes, industrielles ou résidentielles, le tracé des conduites d'eau, d'électricité et des routes, le choix des énergies et les positions des casernes de pompiers et des écoles. Toutes ces possibilités sont documentées et en nombre considérable. La complexité du jeu réside dans la capacité du joueur à prévoir l'impact de ses choix à long terme, construire par exemple un réseau routier initial suffisamment bien pensé pour supporter une montée en capacité lorsque la ville grandira, afin d'éviter les bouchons. Le mécanisme de difficulté de ce jeu peut être entièrement décrit en fonction des trois dimensions :

- Complexité sensorielle : faible
- Complexité motrice : faible
- Complexité logique : forte

Dans SimCity, le joueur dispose en général d'une grande quantité d'informations précise sur l'état actuel du jeu, et donc la complexité sensorielle est faible. Les actions sont simples à effectuer : l'écoulement du temps peut être maîtrisé, et l'interface est pensée pour offrir un contrôle intuitif et précis au joueur. La complexité logique est par contre extrêmement élevée :

à n'importe quel moment, le joueur peut influencer sur un très grand nombre de paramètres. L'évolution du jeu dépend de décisions locales sensées reproduire le comportement d'une ville réelle, et une action entraîne une chaîne de conséquences complexe que le joueur doit anticiper.

3.5.4 Fly For Fun



FIGURE 3.11 – Fly For Fun (Aeonsoft / Gala-Net)

Pour finir, Fly For Fun (Figure 3.11) est un **MMORPG**⁶ gratuit. Le joueur y effectue les tâches communes à l'ensemble des jeux du genre : il collecte des objets, élimine des ennemis et poursuit des quêtes pour obtenir des points d'expérience, utilise ces points d'expérience pour obtenir de nouvelles capacités, et se constitue un réseau social, par exemple en s'associant plus ou moins durablement à un groupe de joueurs aux intérêts communs, ou en marchandant des objets. Les jeux de rôle en ligne puisent dans l'ensemble des registres de difficulté que nous avons définis :

- Complexité sensorielle : moyenne
- Complexité logique : moyenne
- Complexité motrice : moyenne

Tout d'abord, un joueur de Fly For Fun est confronté à une composante de type action : pour gagner des points il doit exterminer des ennemis, et doit donc pour cela combiner diverses attaques et sorts de protection, avec un timing précis. Néanmoins, cette difficulté reste raisonnable et le joueur joue la plupart du temps de manière très automatique, le résultat d'un combat étant autant conditionné par les capacités de son avatar que par sa propre habileté.

6. Massively Multiplayer Online Role Playing Game : jeu de rôle massivement multijoueurs en ligne.

La complexité logique est également moyenne : lorsqu'il combat, le joueur a accès à un nombre raisonnable d'actions, de l'ordre de la dizaine, et dont les conséquences sont immédiates. Par contre, le joueur utilise des points d'expériences pour configurer son avatar : il peut obtenir divers sorts, augmenter certaines de ces aptitudes. Chacun de ces choix influe sur son style de jeu et sur la probabilité de remporter un combat. Le joueur doit donc respecter une certaine logique pour effectuer des choix avisés qui auront un impact à long terme sur son expérience de jeu. De même, une grande partie du succès des jeux de rôle en ligne réside dans leur côté social. Le joueur peut intégrer des groupes de joueurs, et entrer alors dans un jeu complexe de relations sociales qui peuvent aussi susciter des comportements stratégiques. Le joueur doit donc faire preuve de capacités inférentielles pour certains aspects du gameplay.

La complexité sensorielle est également moyenne : le joueur découvre une histoire et cherche à accomplir des quêtes. Il doit donc découvrir des informations sur l'univers du jeu qui ne peuvent être déduites de ces règles, comme par exemple rechercher un jouet caché dans une zone de la carte, pour le ramener ensuite à l'enfant qui l'avait perdu et obtenir une récompense.

On peut remarquer que cette difficulté est pour le joueur bien plus malléable que dans d'autres genres de jeu. Le joueur peut choisir de s'intéresser principalement aux quêtes, et ainsi limiter les dimensions logiques et motrices pour se concentrer sur l'aspect sensoriel. Il peut aussi se concentrer sur le combat et s'appuyer sur un guide stratégique pour les choix de compétences à débloquent, se concentrant ainsi uniquement sur la dimension logique. Cette adaptation du gameplay au joueur est un aspect particulier de ce type de jeu, et a par exemple amené Richard Bartle à en proposer une typologie [Bartle 96].

3.6 Conclusion

Les trois dimensions de complexité proposées permettent de caractériser la difficulté des gameplay de la plupart des jeux vidéo. Nous comprenons désormais plus précisément de quelle manière un jeu vidéo peut faire varier l'effort demandé au joueur pour atteindre les différents objectifs qu'il propose. On remarque que parmi l'ensemble des jeux vidéo développés, ces dimensions sont différemment exploitées et permettent ainsi aux joueurs de trouver un type de challenge qui leur correspond. Cette première approche est nécessaire en ce qu'elle permet de décrire ce que nous souhaitons mesurer. De cette manière, la difficulté n'est plus un concept abstrait simplement lié à l'effort du joueur mais peut être étudiée en fonction de ces trois dimensions.

Cette étude des dimensions de difficulté permettent aussi d'envisager l'ampleur de la tâche : jouer à un jeu vidéo sollicite l'ensemble des capacités cognitives et motrices d'un individu. Une modélisation a priori de la difficulté, directement à partir d'une description du

gameplay, sera donc forcément incomplète. Le comportement humain est complexe, soumis à de nombreux biais, dont il n'existe aujourd'hui aucun modèle complètement satisfaisant [Noveck 07]. Ces pistes sont donc particulièrement instructives et permettent d'envisager la forme d'un modèle de la difficulté, mais soulignent la nécessité d'effectuer des tests en condition réelles, avec de vrais joueurs, pour obtenir une mesure réaliste.

Les dimensions de difficulté fournissent également une grille d'analyse de gameplay. Le game designer doit en effet identifier de quelle manière se construit la difficulté du gameplay qu'il conçoit, et donc comprendre quel effort il propose au joueur, pour mieux le modéliser. Comme nous le verrons par la suite, modéliser la difficulté demande de modéliser le joueur, et notre typologie de la difficulté peut aider le game designer dans cette tâche.

Le prochain chapitre s'intéresse à l'impact de la difficulté sur le plaisir du joueur. La théorie du game design explique que la difficulté est un paramètre important du gameplay. Mais d'autres se sont posés les mêmes questions, en étudiant directement l'impact de la difficulté sur la psychologie du joueur. Le chapitre suivant complète donc notre approche. En rassemblant plusieurs études décrivant la psychologie du joueur et son lien avec la difficulté, nous motivons plus précisément notre travail et formulons des hypothèses sur la forme la plus efficace des courbes de difficulté d'un jeu vidéo.

Glossary

First Person Shooter First Person Shooter, jeu de tir en vue subjective.. 5, 12–14, 17, 30

gameplay Rollings et Adams définissent le gameplay de la façon suivante : *Les challenges, ainsi que les actions que le joueur peut entreprendre pour les réussir, constituent le gameplay. D'un manière plus large, on peut considérer le gameplay comme ce que fait le joueur lorsqu'il joue, c'est à dire le type de problèmes qui lui sont posés et la manière dont il les résout..* 30

MMORPG Massively Multiplayer Online Role Playing Game : jeu de role massivement multijoueurs en ligne.. 36

point and click Jeu d'aventure dans lequel l'activité principale du joueur consiste à cliquer à l'écran pour interagir.. 22

RTS Real Time Strategy : jeux de stratégie temps réel. 8

Bibliographie

- [Adams 08] Ernest Adams. *The Designer's Notebook : Difficulty Modes and Dynamic Difficulty Adjustment*. Gamasutra : <http://www.gamasutra.com/> (last access 01/2009), 2008.
- [Agogino 00] A. Agogino, K. Stanley & R. Miikkulainen. *Online Interactive Neuro-evolution*. Neural Process. Lett., vol. 11, no. 1, pages 29–38, 2000.
- [Aha 04] David W. Aha & Matthew Molineaux. *Integrating learning in interactive gaming simulators*. In Challenges of Game AI : AAAI'04 Workshop Proceedings, 2004.
- [Aha 05] David W. Aha, Matthew Molineaux & Marc J. V. Ponsen. *Learning to Win : Case-Based Plan Selection in a Real-Time Strategy Game*. In Case-Based Reasoning, Research and Development, 6th International Conference, on Case-Based Reasoning, ICCBR 2005, Chicago, IL, USA, August 23-26, 2005, Proceedings, pages 5–20, 2005.
- [Andrade 05] Gustavo Andrade, Geber Ramalho, Hugo Santana & Vincent Corruble. *Extending Reinforcement Learning to Provide Dynamic Game Balancing*. In IJCAI 2005 Workshop on Reasoning, Representation, and Learning in Computer Games, pages 7–12, 2005.
- [Barber 07] Heather Barber & Daniel Kudenko. *Dynamic Generation of Dilemma-based Interactive Narratives*. In AIIDE : First Artificial Intelligence and Interactive Digital Entertainment Conference, Marina del Rey, California, USA, 2007.
- [Bartle 96] Richard Bartle. *Heart, Clubs, Diamonds, Spades : Players who suit muds*. Volume 1, Issue 1, Journal of MUD Research (<http://www.mud.co.uk/richard/hcds.htm>), 1996.
- [Bates 92] Joseph Bates. *Virtual reality, art, and entertainment*. Presence : Teleoper. Virtual Environ., vol. 1, no. 1, pages 133–138, 1992.
- [Bohm 05] Niko Bohm, Gabriella Kókai & Stefan Mandl. *An Evolutionary Approach to Tetris*. In 6th Metaheuristics International Conference, 2005.

- [Bonet 01] J. Bonet & C. Stauffer. *Learning to play Pac-man using incremental Reinforcement Learning*. <http://www.ai.mit.edu/people/stauffer/-Projects/PacMan>, 2001. Accessed 5 december 2008.
- [Boutros 08] Daniel Boutros. *Difficulty is Difficult : Designing for Hard Modes in Games*. Gamasutra : <http://www.gamasutra.com/> (last access 01/2009), 2008.
- [Byrne 04] Ed Byrne. Game level design (game development series). Charles River Media, December 2004.
- [Chan 04] B. Chan, J. Denzinger, D. Gates, K. Loose & J. Buchanan. *Evolutionary behavior testing of commercial computer games*. Evolutionary Computation, 2004. CEC2004. Congress on, vol. 1, pages 125–132 Vol.1, June 2004.
- [Cole 04] Nicholas Cole, Sushil J. Louis & Chris Miles. *Using a Genetic Algorithm to Tune First-Person Shooter Bots*. In Proceedings of the 2004 congress on evolutionary computation CEC 2004, Portland OR, USA, June 19-23 2004.
- [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.
- [Damasio 94] Antonio Damasio. Desartes' error : Emotion, reason, and the human brain. Avon Books, 1994.
- [Davis 05] John P. Davis, Keith Steury & Randy Pagulayan. *A survey method for assessing perceptions of a game : The consumer playtest in game design*. Game Studies, vol. 5, 2005.
- [Demasi 03] Pedro Demasi & Adriano J. de O. Cruz. *Online Coevolution for Action Games*. In International Journal on Intelligent Games & Simulation, volume 2, pages 80–88, 2003.
- [Douville 09] Brett Douville. *Opinion : Ten Tips For Managing Difficulty In Games*. Gamasutra : <http://www.gamasutra.com/> (last access 03/2009), 2009.
- [Gallagher 03] Marcus Gallagher & Amanda Ryan. *Learning to play Pac-Man : an evolutionary, rule-based approach*. In Evolutionary Computation (CEC '03), volume 4, pages 2462– 2469, 2003.
- [Gallagher 07] Marcus Gallagher & Mark Ledwich. *Evolving Pac-Man Players : Can We Learn from Raw Input ?* In Computational Intelligence and Games (CIG), 2007.

- [Gomez-Martin 06] Marco Antonio Gomez-Martin, Pedro Pablo Gómez-Martín, Pedro A. González-Calero & Belén Díaz-Agudo. *Adjusting game difficulty level through Formal Concept Analysis*. In Max Bramer, Frans Coenen & Tony Allen, éditeurs, AI-2006, the XXVI SGAI International Conference on Innovative Techniques and Applications of Artificial Intelligence, pages 217–230, Cambridge, UK, December 2006. Springer.
- [Graepel 04] Thore Graepel, Ralf Herbrich & Julian Gold. *Learning to Fight*. In Proceedings of the International Conference on Computer Games : Artificial Intelligence, Design and Education, 2004.
- [Huizinga 51] Johan Huizinga. *Essai sur la fonction sociale du jeu*. Gallimard, 1951.
- [Hunicke 05] Robin Hunicke. *The case for dynamic difficulty adjustment in games*. In Advances in Computer Entertainment Technology, pages 429–433, 2005.
- [Jimenez 09] Eduardo Jimenez. *Race Script : An Alternative to Rubber Banding*. Game AI Conference, 2009.
- [Juul 03] Jesper Juul. *The Game, the Player, the World : Looking for a Heart of Gameness*. In Marinka Copier & Joost Raessens, éditeurs, Level Up : Digital Games Research Conference Proceedings, pages 30–45, 2003.
- [Kirby 08] Neil Kirby. *AI as Gameplay Analysis Tool*. In Game Programming Wisdom 4, chapitre 1, pages 39–49. Course Technology, Cengage Learning., 2008.
- [Lee-Urban 08] Stephen Lee-Urban, Megan Smith & Hector Munoz-Avila. *Learning Winning Policies in Team-Based First-Person Shooter Games*. In Game Programming Wisdom 4, chapitre 7, pages 659–671. Course Technology, Cengage Learning., 2008.
- [Lucas 05] Simon M. Lucas. *Evolving a Neural Network Location Evaluator to Play Ms. Pac-Man*. In Proceedings of the 2005 IEEE Symposium on Computational Intelligence and Games (CIG05), 2005.
- [Ludwig 07] Jeremy Ludwig & Art Farley. *A Learning Infrastructure for Improving Agent Performance and Game Balance*. In AIIDE 07 Workshop on Optimizing Player Satisfaction, 2007.
- [Madeira 04] Charles Madeira, Vincent Corruble, Geber Ramalho & Bohdana Ratitch. *Bootstrapping the Learning Process for the Semi-automated Design of a Challenging Game AI*. In AAAI 2004 workshop on Challenges in Game AI, pages 72–76, 2004.
- [Madeira 06] Charles Madeira, Vincent Corruble & Geber Ramalho. *Designing a Reinforcement Learning-based Adaptive AI for Large-Scale Strategy*

- Games*. In AAAI conference on Artificial Intelligence and Interactive Digital Entertainment, pages 121–123, 2006.
- [Magerko 04] Brian Magerko & John E. Laird. *Mediating the Tension between Plot and Interaction*. In Challenges in Game Artificial Intelligence, Papers from the 2004 AAAI Workshop, pages 108–112. AAAI Press, 2004.
- [Manslow 04] John Manslow. *Using Reinforcement Learning to Solve AI Control Problems*. In AI Game Programming Wisdom 2. Charles River Media, Inc., 2004.
- [Mateas 03] Michael Mateas & Andrew Stern. *Façade : An Experiment in Building a Fully-Realized Interactive Drama*. In Game Developers Conference (GDC'03), 2003.
- [McClelland 79] James L. McClelland. *On the Time Relations of Mental Processes : An Examination of Systems of Processes in Cascade*. Psychological Review, vol. 86, no. 4, pages 287–330, Jul 1979.
- [Mott 06] Bradford W. Mott & James C. Lester. *U-director : a decision-theoretic narrative planning architecture for storytelling environments*. In AAMAS '06 : Proceedings of the fifth international joint conference on Autonomous agents and multiagent systems, pages 977–984, New York, NY, USA, 2006. ACM.
- [Nantes 08] Alfredo Nantes, Ross Brown & Frederic Maire. *A Framework for the Semi-Automatic Testing of Video Games*. In Artificial Intelligence and Interactive Digital Entertainment Conference. AAAI, October 2008.
- [Nelson 05] Mark J. Nelson & Michael Mateas. *Search-Based Drama Management in the Interactive Fiction Anchorhead*. In R. Michael Young & John E. Laird, editeurs, AIIDE, pages 99–104. AAAI Press, 2005.
- [Nelson 06] Mark J. Nelson, David L. Roberts, Charles L. Isbell Jr. & Michael Mateas. *Reinforcement learning for declarative optimization-based drama management*. In AAMAS '06 : Proceedings of the fifth international joint conference on Autonomous agents and multiagent systems, pages 775–782, New York, NY, USA, 2006. ACM.
- [Nelson 08] Mark J. Nelson & Michael Mateas. *Another look at search-based drama management*. In AAAI'08 : Proceedings of the 23rd national conference on Artificial intelligence, pages 792–797. AAAI Press, 2008.
- [Noveck 07] Ira Noveck, Hugo Mercier, Sandrine Rossi & Jean Baptiste Van der Henst. Psychologies du raisonnement, chapitre Psychologie cognitive du raisonnement, pages 40–76. De Boeck, 2007.

- [Ponsen 05] Marc J. V. Ponsen, Héctor Muñoz-Avila, Pieter Spronck & David W. Aha. *Automatically Acquiring Domain Knowledge For Adaptive Game AI Using Evolutionary Learning*. In AAAI, pages 1535–1540, 2005.
- [Ponsen 06] Marc Ponsen, Pieter Spronck & Karl Tuyls. *Towards Relational Hierarchical Reinforcement Learning in Computer Games*. In Proceedings of the 18th Benelux Conference on Artificial Intelligence (BNAIC 2006), October 5-6, Namur, Belgium, 2006.
- [Riedl 03] Mark Riedl, C. J. Saretto & R. Michael Young. *Managing interaction between users and agents in a multi-agent storytelling environment*. In AAMAS '03 : Proceedings of the second international joint conference on Autonomous agents and multiagent systems, pages 741–748, New York, NY, USA, 2003. ACM.
- [Riedl 06] Mark O. Riedl & Andrew Stern. *Believable Agents and Intelligent Story Adaptation for Interactive Storytelling*. In TIDSE, pages 1–12, 2006.
- [Riedl 09] Mark O. Riedl. *Incorporating Authorial Intent into Generative Narrative Systems*. In Proceedings of the AAAI Spring Symposium on Intelligent Narrative Technologies II, Palo Alto, California, 2009.
- [Roberts 06] David L. Roberts, Mark J. Nelson, Charles L. Isbell, Michael Mateas & Michael L. Littman. *Targeting specific distributions of trajectories in MDPs*. In AAAI'06 : proceedings of the 21st national conference on Artificial intelligence, pages 1213–1218. AAAI Press, 2006.
- [Roberts 07] David Roberts, Christina Strong & Charles Isbell. *Estimating Player Satisfaction Through the Author's Eyes*. In Workshop on Optimizing Player Satisfaction at AIIDE, 2007.
- [Rollings 03] Andrew Rollings & Ernest Adams. *Andrew rollings and ernest adams on game design*. New Riders Publishing, 2003.
- [Salen 03] Katie Salen & Eric Zimmerman. *Rules of play : Game design fundamentals*. The MIT Press, October 2003.
- [Soedarmadji 06] Edwin Soedarmadji. *Decentralized Decision Making in the Game of Tic-tac-toe*. In IEEE Symposium on Computational Intelligence and Games, pages 34–38, 2006.
- [Southey 05] Finnegan Southey, Gang Xiao, Robert C. Holte, Mark Trommelen & John W. Buchanan. *Semi-Automated Gameplay Analysis by Machine Learning*. In AIIDE, pages 123–128, 2005.
- [Spronck 02] Pieter Spronck. *Evolving Improved Opponent Intelligence*. In GAME-ON 3rd International Conference on Intelligent Games and Simulation, pages 94–98, 2002.

- [Spronck 05] Pieter Spronck. *Adaptive Game AI*. PhD thesis, Maastricht University, 2005.
- [Spronck 06] Pieter Spronck, Marc Ponsen, Ida Sprinkhuizen-Kuyper & Eric Postma. *Adaptive game AI with dynamic scripting*. Mach. Learn., vol. 63, no. 3, pages 217–248, 2006.
- [Spronck 08] Pieter Spronck. *Automatic Generation of Strategies*. In Game Programming Wisdom 4, chapitre 7, pages 659–671. Course Technology, Cengage Learning., 2008.
- [Sternberg 69] Saul Sternberg. *The discovery of processing stages : Extensions of Donders' method*. Acta Psychologica, vol. 30, pages 276–315, 1969.
- [Sutton 98] Richard S. Sutton & Andrew G. Barto. Reinforcement learning : An introduction. The MIT Press, March 1998.
- [Szita 06] István Szita & András Lörincz. *Learning tetris using the noisy cross-entropy method*. Neural Comput., vol. 18, no. 12, pages 2936–2941, 2006.
- [Szita 07] István Szita & András Lorincz. *Learning to Play Using Low-Complexity Rule-Based Policies : Illustrations through Ms. Pac-Man*. Journal of Artificial Intelligence Research (JAIR), vol. 30, pages 659–684, 2007.
- [Temprado 93] Jean-Jacques Temprado & Jean-Pierre Famosé. *Analyse de la difficulté informationnelle et description des tâches motrices*. In INSEP-Publications, editeur, Cognition et Performance. INSEP-Publications, 1993.
- [Thureau 03] Christian Thureau, Christian Bauckhage & Gerhard Sagerer. *Combining Self Organizing Maps and Multilayer Perceptrons to Learn Bot-Behaviour for a Commercial Game*. In GAME-ON, pages 119–123, 2003.
- [Thureau 04] C. Thureau, C. Bauckhage & G. Sagerer. *Learning Human-Like Movement Behavior for Computer Games*. In Proc. 8th Int. Conf. on the Simulation of Adaptive Behavior (SAB'04), 2004.
- [Timuri 07] Timor Timuri, Pieter Spronck & H. Jaap van den Herik. *Automatic Rule Ordering for Dynamic Scripting*. In AIIDE, pages 49–54, 2007.
- [Ulam 05] Patrick Ulam, Ashok Goel, Joshua Jones & William Murdoch. *Using Model-Based Reflection to Guide Reinforcement Learning*. In IJCAI Workshop on Reasoning, Representation and Learning in Computer Games, 2005.
- [Yannakakis 07] 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 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.
- [Young 01] R. Young. *An Overview of the Mimesis Architecture : Integrating Intelligent Narrative Control into an Existing Gaming Environment*. In Artificial Intelligence and Interactive Entertainment, Association for the Advancement of Artificial Intelligence, Spring Symposium, AAAI Press, 2001.