

Chapitre x

Jeux vidéo et systèmes multi-agents

Vincent Corruble* — Geber Ramalho**

** Laboratoire d'informatique de Paris 6
Université Pierre et Marie Curie - CNRS
4 place Jussieu, 75005, Paris, France
Vincent.Corruble@lip6.fr*

*** Centro de Informática – UFPE
Caixa Postal: 7851, 50732-970, Recife, Brésil
glr@cin.ufpe.br*

x.1 Introduction

Au cœur de ce qui fait l'humanité depuis ses origines, à la fois dans ses dimensions psychologiques et sociales [HUI 38 ; CAI 92], le jeu a plus récemment rencontré l'univers des nouvelles technologies, donnant ainsi naissance au domaine des *jeux vidéo*, ces jeux interactifs permettant, via un ordinateur¹, qu'un ou plusieurs utilisateurs humains se confrontent, sans risques, à des défis ou des situations de conflits [CRA 03]. Ce « mariage » représente maintenant une industrie dont le chiffre d'affaire annuel était déjà de l'ordre de 22 milliards de dollars en 2003 [PWC 04].

¹ Au sens large, car les plateformes sont multiples : ordinateurs personnels, consoles, téléphones portables, etc.

2 Titre de l'ouvrage

Indépendamment de son poids économique, cette industrie devient de plus en plus importante pour diverses raisons, culturelles, éducatives, stratégiques, etc. En effet, les jeux vidéo modernes peuvent être déjà considérés comme un phénomène social [THE 05 ; WIR 06]. A titre d'exemple, déjà en 2000, les jeux vidéo étaient le divertissement préféré des américains, devant la télévision et le cinéma. En Corée du Sud, les meilleurs joueurs de ces types de jeux sont considérés, avec tout le soutien de l'Etat, comme des célébrités aussi importantes que celles des autres medias de l'industrie du loisir, tels que la musique, le cinéma et la télévision.

Les jeux vidéo sont de plus en plus utilisés pour la formation de différents professionnels, comme un outil de simulation établissant un pont entre l'enseignement plus théorique et la pratique dans le monde réel. C'est ce que l'on appelle les « jeux sérieux », utilisés de manière croissante dans les domaines de la gestion d'institutions diverses (entreprises, hôpitaux, bourse, etc), de la gestion de crises, de l'armée, etc. [SAW 02].



Figure x.1. Challenge Restaurant¹ : un jeu sérieux pour enseigner la gestion d'un petit restaurant

Enfin, au-delà des jeux eux-mêmes, les techniques et méthodes nécessaires pour relever les défis posés par leur conception et leur mise en œuvre, peuvent être extrêmement utiles, voire indispensables, dans diverses applications impliquant l'interactivité, la formation de communautés, le travail collaboratif, la visualisation de données, ou la construction d'interfaces d'une façon générale. Ceci est d'autant plus vrai à une époque où la convergence numérique, la télévision numérique et

¹ La liste complète des jeux-vidéo cités avec leur respectifs editeurs se trouve à la fin de ce chapitre

l'informatique diffuse se mettent en place¹. D'ailleurs, il est alors tout à fait compréhensible que l'on retrouve les jeux vidéo dans deux des pôles de compétitivité français, dont *Cap Digital* en Ile de France, à coté du multimédia et de la « vie numérique ».

Dans ce contexte, on peut souligner, ces derniers temps, le rapprochement clair et grandissant entre l'industrie, le plus souvent consciente de ses besoins, et les laboratoires de recherche, qui multiplient leurs efforts vers les jeux vidéo. Plusieurs faits témoignent de ce rapprochement, dont l'apparition de plusieurs conférences, symposiums, ateliers, et même journaux² dédiés au sujet, ainsi que les « sommets académiques » qui ont lieu pendant la GDC (Game Developer's Conference), une des plus importantes conférences de l'industrie.

En ce qui concerne l'Intelligence Artificielle (IA), elle forme, avec l'infographie et le génie logiciel, le noyau dur des disciplines informatiques à maîtriser dans le développement des jeux vidéo. Intuitivement, tandis que l'infographie essaie de donner plus de réalisme visuel à l'environnement et aux scènes, l'IA joue un rôle clé dans le «réalisme comportemental et décisionnel» (niveau de défi adéquat, comportement des personnages cohérents, etc.). Avec l'arrivée des cartes graphiques, qui laissent davantage de CPU libre pour des tâches autres que l'affichage, et aussi la demande pour des jeux « plus intelligents », l'IA ne cesse d'augmenter son importance [WOO 02].

Parmi les techniques d'IA les plus prometteuses pour les jeux vidéo se trouvent les Systèmes Multi-Agents (SMA). Ses idées les plus importantes, comme la notion d'agent, ainsi que ses problématiques, en particulier la coordination, sont déjà connues dans une certaine mesure par de nombreuses équipes de développement de jeux. Toutefois, l'application de techniques SMA est encore très faible, surtout en ce qui concerne les techniques sophistiquées qui viennent du monde de la recherche. Le milieu industriel apporte des solutions raisonnables aux problématiques typiquement SMA comme la coordination, mais ces solutions demeurent encore ad-hoc, et, donc, peu réutilisables. De plus, tout un éventail de problèmes pouvant bénéficier d'une approche SMA ne sont pas encore dûment abordés selon cette approche. Comme nous le verrons dans ce chapitre, l'application de techniques SMA dans les jeux vidéo est très porteuse, aussi bien pour l'industrie, pour résoudre des problèmes concrets, que pour la recherche, en ce qu'elle suscite de nouvelles problématiques ainsi que des environnements d'expérimentation.

¹ Un bon exemple de révolution dans l'interface qui aura des retombées au-delà des jeux, ce sont les manettes sensibles au mouvement pour la console Wii (Nintendo)

² *ACM Computers and Entertainment, Journal of Game Development, International Computer Games Journal.*

4 Titre de l'ouvrage

Le rapprochement industrie-laboratoire est très porteur ; il se met déjà en place. Il faut maintenant le pousser davantage, ce qui est un des objectifs de ce chapitre, dans la mesure où il vise à mieux faire connaître aux deux parties les applications des SMA aux jeux vidéo. Pour cela, nous présentons dans la prochaine section un aperçu des jeux vidéo, en en proposant une typologie simple, en présentant les rôles de l'IA, et en particulier des SMA, dans ces jeux, ainsi que le cahier des charges correspondant. Nous énumérons ensuite les principaux problèmes rencontrés dans les jeux vidéo qui pourraient bénéficier d'une approche multi-agents¹. Dans la partie finale, nous discutons rapidement des efforts existants, en particulier dans l'industrie, pour résoudre certaines des problèmes énumérés. Enfin, nous concluons avec des perspectives d'utilisation des SMA dans les jeux vidéo.

x.2 Jeux vidéo

Dans cette section, nous présentons quelques-unes des principales catégories de jeux vidéo, en guise d'introduction au domaine, afin de disposer de points de repère pour les explications, discussions et exemples que nous donnerons par la suite. Nous présentons brièvement le « cahier des charge » du développement de jeux, en identifiant les principaux besoins (fonctionnels et non fonctionnels), afin d'avoir quelques contraintes générales sur les solutions envisagées. Enfin, nous présentons le rôle de l'IA, et des SMA, dans leur développement.

x.2.1 Catégories de Jeux

Certes, la plupart des jeux vidéo modernes partagent plusieurs caractéristiques avec les jeux dits classiques tels que les Echecs et le Go : un ensemble de règles qui définissent les états du jeu, les actions possibles pour chaque joueur, et les conditions de victoire. Mais les jeux vidéo ajoutent beaucoup d'autres éléments, notamment autour de la notion d'interactivité [NAT 04]. Les interactions y sont en effet très riches et visent à créer, à travers des graphismes 3D et des sons, des environnements immersifs. Au-delà de la richesse des aspects visuels et auditifs, de la versatilité des périphériques d'entrée (manette de jeu avec retour de force, par exemple), les interactions sont plus complexes pour plusieurs raisons : le joueur interagit avec des « personnages intelligents » ayant des comportements imprévus dans des environnements complexes et inconnus ; le scénario est ouvert, permettant de mener la narration dans des directions très différentes ; les règles du jeu ne sont

¹ Nous ne traitons pas des techniques, modèles, architectures, approches SMA à proprement parler, car d'autres chapitres dans ce livre le font par ailleurs.

pas nécessairement données explicitement au préalable, demandant ainsi une exploration de la part du joueur. Pour donner ici une idée de la complexité des problèmes rencontrés au niveau de la prise de décision, citons un calcul simple de taille des espaces d'états et d'actions tiré de [MAD 06]. Un des principaux défis de la prise de décisions résulte de la taille des problèmes, lié au « facteur de branchement » étudié dans le champ de la Résolution de Problèmes. Tandis que dans des jeux classiques, tels que le backgammon, les tailles approximatives de l'espace d'états et de l'espace d'actions sont respectivement de 10^{20} et 10^2 , dans des petits scénarios de wargames modernes comme Battleground, elles sont de 10^{1900} et 10^{230} respectivement.



Figure x.2. Battleground : un wargame qui simule des batailles historiques de l'ère napoléonienne.

Au-delà de ces caractéristiques générales qui sont communes à une très grande majorité des jeux vidéo modernes, il est utile de dresser un bref panorama des principales catégories de jeux existant actuellement.

Une première catégorie importante de jeux contient les **jeux de combat**, jeux en temps-réel orientés vers l'action connaissant un grand succès commercial. Les plus fidèles représentants des **jeux de combat** sont les **FPS** (*First-Person Shooters*, parfois traduit en Français « jeux de tir à la première personne »), tels que Counter Strike, et les **jeux de lutte**, tels que Street Fighter. Les premiers sont des jeux dans lesquels le joueur perçoit et interagit avec le monde « dans la peau » d'un personnage (ce qui est appelé « vue à la première personne ») qui doit accomplir certaines missions, qui impliquent généralement de tirer avec une arme sur des ennemis en se déplaçant dans un environnement de type labyrinthe, éventuellement en collaborant avec d'autres personnages ou joueurs vers des objectifs communs. Dans les jeux de lutte, deux joueurs s'affrontent face à face dans une sorte d'arène

6 Titre de l'ouvrage

avec l'objectif de vaincre son adversaire et d'avancer vers le combat suivant. Comme dans les autres styles de jeux, les personnages (amis ou adversaires) avec qui le personnage principal interagit peuvent être contrôlés par l'ordinateur ou par d'autres joueurs humains.

Dans les **jeux de stratégie**, tels que *Age of Empires* et *Civilization*, un monde complexe est simulé en prenant en compte, grâce à des modèles à but ludique, aussi bien des aspects économiques (collecte de ressources, productions d'unités militaires, etc.), diplomatiques (alliances,...), technologiques, et militaires (conquête ou défense de territoires en déplaçant les unités sur la carte et en choisissant leurs cibles). Ces jeux demandent des décisions stratégiques et tactiques, souvent en fonction de multiples critères, en visant à la fois des buts à long et à court terme. Du fait de cette complexité et du grand nombre d'unités à contrôler, certaines unités bénéficieront d'une d'autonomie complète ou partielle, ce qui allège d'autant la charge cognitive du joueur. Il existe des jeux de stratégie sans aspect militaire (par exemple pour l'administration d'un parc thématique de divertissement, comme dans *RollerCoaster Tycoon*, tandis qu'à l'opposé, certains sont dédiés à cet aspect uniquement. C'est le cas des **wargames**, tels que ceux de la série *Battleground*, qui, de plus, visent à atteindre un certain réalisme du point de vue historique et militaire.



(a)



(b)

Figure x.3. (a) *Counter Strike* et (b) *Age of Empires*: un *First Person Shooter* et un *Jeu de Stratégie en Temps Réel*, respectivement.

Les **Jeux d'Aventure**, tels que *Fahrenheit*, comptent parmi les catégories de jeux les plus innovantes par rapport aux jeux plus traditionnels. Comme pour les FPS, on y incarne un personnage « à la première personne », mais ici, plus que l'accomplissement d'une mission à travers l'élimination physique de nombreux ennemis, l'objectif est la progression dans une histoire au scénario potentiellement très complexe. Ce type de jeu pour lesquels on parle de narration interactive [SHE

04] emprunte au moins autant au monde du cinéma qu'à celui des jeux traditionnels. L'aspect visuel et le scénario en sont en effet des éléments clé. Mais la narration y est interactive dans le sens où l'évolution de l'histoire dépend des choix et des actions du personnage incarné par le joueur. L'environnement de ce type de jeu doit être le plus crédible possible pour que le joueur puisse évoluer avec une forte impression de liberté d'action, tout en gardant l'évolution de l'histoire dans l'une des branches envisagées par le scénario. L'environnement, pour être perçu comme crédible, doit aussi être peuplé de personnages qui peuvent à l'occasion aider ou contrecarrer les plans du joueur.

Les **Jeux de Simulation** utilisent les capacités de modélisation de l'informatique pour simuler de manière crédible ou réaliste des systèmes complexes à des fins ludiques. Les applications sont très variées, et peuvent aller par exemple d'un sous-marin pendant la 2^{ème} guerre mondiale (*Silent Hunter*) à la gestion du développement d'une ville entière (*SimCity*). On retrouve dans ces jeux les notions d'environnements complexes crédibles, qui nécessitent la présence d'une population d'individus (amis, ennemis, ou neutres) réalistes. Ces jeux peuvent formuler des objectifs précis pour le joueur (dans le cas de *Silent Hunter*, par exemple, couler tel navire), ou les laisser en grande partie à son appréciation (dans le cas de *SimCity*, le joueur peut s'atteler à construire la ville la plus grande, ou la plus belle, ou la plus riche,...). Une sous-catégorie de ces jeux est ce que l'on appelle les « **Jeux de Dieu** » (god games), où le joueur peut influencer les personnages et leur environnement comme s'il était un dieu. C'est le cas par exemple de *The Sims*, où plutôt que de gérer une ville, on gère la vie quotidienne de plusieurs habitants, en choisissant leurs objectifs, et en influant, plus ou moins directement, sur leur vie professionnelle, et leurs relations sociales, familiales, etc.



(a)

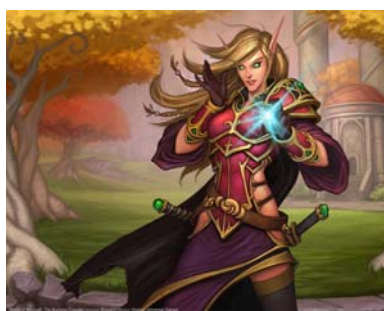


(b)

Figure x.4. (a) *Fahrenheit* et (b) *The Sims* : un Jeu d'Aventure et un Jeu de Dieu, respectivement.

Une autre catégorie est constituée des **Jeux de Rôle** (JdR), tels que Final Fantasy, Diablo ou World of Warcraft, où le joueur incarne un personnage et doit le faire évoluer dans différentes dimensions : capacités, talents, expérience, armes, etc. Cette évolution se fait, pour la plus grande part, par l'accomplissement de quêtes proposées par d'autres personnages, qui peuvent correspondre à des tâches variées : tuer des monstres, délivrer un héros, chercher un trésor, détruire un objet, escorter une personnalité, etc. Ces jeux se déroulent normalement dans des mondes imaginaires et fantastiques, souvent avec des éléments médiévaux. Une variante de ces jeux connaît un succès grandissant. Il s'agit des MMORPG (jeux de rôle en ligne massivement multi-joueurs), où des milliers de joueurs interagissent dans des mondes persistants via internet.

Les **Jeux de Sports** reproduisent des sports classiques comme le football, le baseball, le volley-ball, le ski, le skate-board, la course automobile, etc. Il s'agit d'une catégorie de jeu très variée et riche, du fait de la variété même des modalités de sport. Les règles et les buts sont ceux des sports correspondants. Il est intéressant de souligner que, dans certains cas, le joueur doit interagir aussi bien avec des adversaires qu'avec des partenaires.



(a)



(b)

Figure x.5. (a) *World of Warcraft* et (b) *FIFA Soccer* : un Jeu de Rôle et un Jeu de Sport, respectivement.

Enfin, il existe un vaste ensemble de jeux plus simples, du point de vue du scénario, comprenant les puzzles, les jeux classiques, etc. ainsi que plusieurs variantes des catégories de jeux précédentes, les « hybrides », qui combinent leurs caractéristiques. Par exemple, Gran Turismo mélange sport et stratégie, Warcraft combine stratégie et JdR, etc.

x.2.2 Cahier des charges

De Pacman ou Pin-Ball, à World of Warcraft, l'évolution des jeux vidéo est vertigineuse : des mondes représentés par des tableaux, à des mondes immersifs (en trois dimensions) avec un haut niveau de réalisme graphique et sonore ; des jeux sans scénario/narration, à des histoires interactives, où le joueur dispose de nombreux degrés de liberté ; de quelques entités (soldats, montres, etc.) à des milliers d'unités ; de durées de quelques minutes, à des jeux potentiellement sans fin (ou qui durent en pratique plusieurs centaines d'heures) ; des jeux où l'on joue en solitaire à ceux qui regroupent plus d'un million de personnes ; et, enfin, des jeux qui exigent surtout une habileté manuelle (rapidité et dextérité), à ceux pour lesquels la demande cognitive est significative, par exemple pour combiner des décisions stratégiques et tactiques, ou bien pour prendre en compte de multiples critères dans les décisions. Cela résume l'état des lieux actuel, qui demande de grands efforts de développement, des équipes multidisciplinaires, des investissements se comptant en millions d'Euros, etc. [NAT 04].

Certes, les *besoins non fonctionnels* [SOM 97] jouent un rôle non négligeable dans le développement des jeux vidéo. En effet, les contraintes de temps et de mémoire sont très importantes, sans parler des consignes liées au contrôle de qualité du logiciel et de la maîtrise du coût final du projet, car les jeux sont des logiciels très complexes de plusieurs points de vue : nombre de lignes de code (des millions), conception, gestion de l'équipe (pouvant dépasser une centaine de professionnels), réutilisation de composants très divers, etc. [ROL 00]. Mais, eu égard à l'étendue limitée de ce chapitre, nous allons nous concentrer sur certains *besoins fonctionnels*, notamment ceux qui s'articulent autour de la notion de « jouabilité » (de l'anglais, *playability*, *gameplay*), c'est-à-dire, l'envie de jouer, de poursuivre et d'approfondir le jeu.

Contrairement aux logiciels les plus courants, qui visent à rendre plus facile la réalisation de tâches via des interfaces « relativement fonctionnelles et esthétiques », dans les jeux vidéo, la relation avec l'utilisateur doit répondre à des demandes beaucoup plus importantes. En effet, le but ultime d'un jeu est de séduire l'utilisateur, de façon à ce qu'il joue des centaines d'heures, ou encore qu'il ait envie de rejouer plusieurs fois même après être déjà arrivé au bout du jeu [SAL 03 ; CRA 03]. Dans cette « affaire de séduction », il ne s'agit pas nécessairement de rendre les tâches plus faciles. Au contraire, l'élément qui attire le plus les joueurs est justement le défi, le conflit [KOS 04]. Bien entendu, la façon d'interagir avec le jeu doit être facilitée par des interfaces, mais l'interaction elle-même inclut d'autres éléments visant au fond à augmenter la jouabilité du jeu. Ceci constitue le leitmotiv des processus de conception (*game design*) et d'implémentation des jeux. En quelque sorte, on peut dire que le domaine des jeux vidéo est l'un des premiers à avoir utilisé, et est l'un de ceux qui pratiquent le plus, ce que l'on appelle actuellement la conception d'interface centrée sur l'utilisateur.

Les conséquences de cette recherche de jouabilité sont multiples. Pour en citer trois, disons tout d'abord qu'un jeu n'a pas nécessairement besoin d'être réaliste, par exemple vis-à-vis des lois de la physique ou des comportements des personnages¹. Ensuite, on ne souhaite pas forcément que la machine, contre qui le joueur joue, exhibe le comportement le plus intelligent possible de façon à battre le joueur systématiquement, car cela le découragerait certainement. Enfin, à la différence des jeux classiques, tels que les échecs, où les règles sont claires, les jeux vidéo ont des règles tellement riches, ouvrant tant de possibilités de jeu, que le joueur ne les découvre qu'en explorant le jeu. Le jeu se présente alors comme un apprentissage en tant que tel, et non plus seulement comme une résolution de problèmes.

x.2.2 Le rôle de l'IA et des agents

Contrairement à certains domaines industriels qui préfèrent souvent ne pas mentionner explicitement l'utilisation de techniques d'« IA », l'industrie des jeux revendique fièrement l'existence d'une IA dans ses produits. IA apparaît explicitement sur les boîtes des jeux, souvent avec des adjectifs, certains discutables, tels que « avancée », « innovatrice », « d'ultime génération », etc. Ce fait, presque anecdotique, illustre toutefois la conscience que les industriels des jeux vidéo ont de l'importance du rôle de l'IA, aussi bien pour la qualité intrinsèque du produit final que pour le succès commercial qui en découlera. Cette reconnaissance semble en effet partagée par le public.

L'IA peut intervenir, à plusieurs niveaux ou avec plusieurs rôles, pendant l'exécution d'un jeu vidéo afin de le rendre plus riche, stimulant ou crédible, pour proposer un bon niveau de difficulté ou une interaction plus facile. A ces fins, l'IA est couramment utilisée dans la modélisation et la mise-en-œuvre de quatre éléments principaux : les PNJ, l'adversaire artificiel, le maître du jeu, et l'interface.

L'élément où l'IA se fait le plus facilement remarquer dans les jeux vidéo modernes correspond évidemment à la modélisation des comportements et des décisions des *Personnages Non-Joueurs* (PNJ), personnages (plus généralement entités) que le joueur humain ne contrôle pas, et qui sont donc contrôlés par la machine. Quelques exemples sont les habitants d'une ville d'un jeu d'aventure, les travailleurs ou les soldats d'un jeu de stratégie, les voitures contre lesquelles le joueur concourt. En fonction du type de jeu et du contexte, les PNJ peuvent avoir des rôles très différents, allant d'éléments d'ambiance peuplant un univers (par

¹ Certes, certains jeux, comme les jeux sérieux ou les jeux de courses de voiture, ont besoin d'être plus précis. Mais, des grands succès du jeu vidéo, comme Mario Bros, Sonic ou Rayman, sont « non réalistes », dans la mesure où ils ressemblent plutôt aux bandes dessinées, ils ne respectent pas les lois de la physique, etc.

exemple, des poissons et des oiseaux dans le décor, des passants dans une ville pour un jeu d'aventure, etc.), en renforçant le réalisme sans interaction directe véritable avec le joueur, à celui d'aide qui procure des informations (par exemple, les PNJ qui, dans un JdR, fournissent les quêtes au joueur), voire même qui agit directement pour aider le joueur (par exemple, son armée ou équipe), jusqu'à celui de l'adversaire (l'armée ou l'équipe ennemie). Les PNJ ont, par définition, besoin d'être autonomes, puisque qu'ils doivent prendre des décisions et agir sans l'intervention d'un joueur humain.

Dans ce cadre, il est naturel qu'un PNJ soit modélisé comme un agent intelligent, dont une des caractéristiques les plus importantes est justement d'être autonome. D'autres caractéristiques, telles que les capacités à s'adapter, à exhiber une personnalité et à entreprendre un dialogue en langue naturelle, renforcent l'intérêt d'une approche agent des PNJ. D'ailleurs, cette association agent-PNJ a déjà en grande partie été intégrée par l'industrie, au moins au niveau conceptuel (les méthodes mise en place n'utilisent pas encore tout ce qui est disponible dans la programmation orientée agent, par exemple). Enfin, la plupart du temps, ces PNJ doivent agir en groupe de façon coordonnée et concertée, ce qui appelle évidemment une modélisation multi-agents de leurs comportements et décisions.

Il faudrait ajouter que l'on peut, de façon cohérente, élargir la définition des PNJ, en principe totalement contrôlés par la machine et donc complètement autonomes, pour inclure ceux qui le sont partiellement, et qui normalement sont des alliés du joueur humain. Ce sont notamment des personnages qui, bien que recevant des ordres du joueur, ont la liberté de les interpréter ou de les adapter selon les circonstances. C'est, par exemple, le cas d'une unité (ou entité) qui, recevant l'ordre de se rendre à un endroit particulier, peut choisir le chemin précis à parcourir, ou encore, sous l'ordre d'attaque, peut choisir dynamiquement les cibles les plus pertinentes. Il y a aussi des PNJ qui peuvent éventuellement prendre certaines initiatives. Dans les jeux de stratégie, un travailleur dont la tâche est de couper du bois, peut, lorsque la zone boisée où il se trouve est épuisée, en chercher une autre où il peut poursuivre sa tâche. Dans les jeux de sport collectif, tels que le football (comme FIFA Soccer), ou les jeux de combat (comme Brothers in Arms), les PNJ de la même équipe que le joueur, doivent également se positionner le mieux possible en fonction du déplacement, ou des intentions présumées, de ce joueur. En somme, cette semi-autonomie a essentiellement le but d'alléger la tâche du joueur humain, qui aurait autrement beaucoup de peine à donner tout le temps des ordres très précis à chaque PNJ (un exemple de l'écueil rencontré par plusieurs jeux, souvent appelé « *micro-management* »), sans pouvoir s'occuper d'avantage des décisions stratégiques, par exemple.

Le deuxième élément pour lequel l'IA joue un rôle clé est ce que nous appelons *l'adversaire artificiel*, censé incarner un joueur s'opposant au joueur humain. C'est

par exemple le cas lorsque l'on joue sur ordinateur à des jeux de plateau, tels que les échecs, ou jeu de cartes, comme le moderne Yu-gi-oh. On joue alors contre la machine et la notion de PNJ perd de sa pertinence.

Il est en effet important pour l'industrie d'offrir aux joueurs la possibilité de jouer « contre la machine », un adversaire constamment disponible, compétent, et au niveau si possible modulable. Cet adversaire artificiel est alors censé avoir accès aux mêmes actions que celles du joueur humain, se plaçant en quelque sorte « au-dessus hiérarchiquement » des PNJ, quand ils existent, et prenant en charge tout ce qui n'est pas de leur ressort. Autrement dit, normalement c'est cet adversaire qui s'occupe des décisions de plus haut niveau telles que la gestion de ressources dans un jeu de stratégie, les choix stratégiques ou l'analyse de terrain/situation dans un *wargame*, la modélisation du joueur humain (pour pouvoir anticiper ses prochains mouvements) dans n'importe quel catégorie de jeu, etc. Cet adversaire peut aussi donner des ordres aux PNJ qui composent l'équipe adverse, de la même façon que le joueur humain peut donner des ordres à ses agents co-équipiers. Enfin, tout comme les PNJ, l'adversaire artificiel doit être autonome, prendre des initiatives et aussi adapter son comportement et ses décisions en fonction de l'évolution du jeu et du joueur humain à qui il fait face.

Maintenant que les concepts de PNJ et d'adversaire artificiel ont été introduits, il faut préciser que les frontières entre eux sont parfois floues. Les PNJ et l'adversaire artificiel sont les lieux clés de l'intelligence du jeu, mais l'option de localiser les prises de décisions soit au niveau d'un adversaire artificiel qui serait abstrait, centralisé, non incarné, soit dans chacun des PNJ qui sont par nature concrets, incarnés et distribués, reste le plus souvent un choix de modélisation et de conception. Des PNJ qui paraissent autonomes peuvent éventuellement (et ceci de manière à ce que ne soit pas perceptible par le joueur humain) obéir aux ordres d'une IA centralisée. A l'inverse, on peut envisager dans certains cas l'adversaire artificiel comme la résultante, selon un processus émergent, de l'ensemble des décisions prises de manière distribuée par tous les PNJ. Entre ces deux extrêmes, on recherchera souvent une solution intermédiaire où la prise de décision est répartie entre un adversaire artificiel centralisé, qui s'occupera en particulier de stratégie, et des PNJ, qui s'occuperont de tactique et de la mise en œuvre à « bas niveau » des décisions prises au niveau central [VAN 02].

Il est important d'insister qu'aussi bien les PNJ que l'adversaire artificiel doivent non seulement agir avec un souci d'efficacité (pour être des adversaires de « bon niveau »), mais aussi agir de manière crédible dans le contexte du jeu, et réaliste aux yeux du joueur humain (ne pas tricher, ou alors très discrètement, par exemple). Cet aspect multidimensionnel de l'évaluation de l'intelligence artificielle des jeux vidéo, illustre bien la richesse de ce domaine de recherche. Il n'est pas sans rappeler l'ambiguïté soulignée par Alan Turing dès les années 40 sur la nature de

l'intelligence artificielle [TUR 50], qui peut être envisagée comme capacité objective à réaliser (résoudre des problèmes, atteindre un bon score à un jeu) ou comme capacité subjective à paraître (paraître réaliste, crédible, amusant).

Le troisième élément pouvant impliquer de l'IA se situe au niveau du *maître du jeu*. Sa première responsabilité tient à la gestion de l'environnement du jeu et du déroulement de la narration, afin de garantir la crédibilité et la cohérence vis-à-vis de la thématique du jeu, ainsi que de maintenir l'intérêt du joueur. Cela est important et difficile, particulièrement dans les jeux d'aventure, car il faut à la fois donner beaucoup de liberté au joueur, tout en respectant le scénario. Dans le contexte d'un Jeu de Rôle, le maître du jeu peut avoir à sa charge la gestion des quêtes à proposer au Personnage Joueur. Notons bien que le maître du jeu ne s'oppose pas au joueur, comme le fait l'adversaire artificiel. Il s'occupe uniquement de gérer le jeu. Il ne *joue* donc pas à proprement parler, on dira plutôt qu'il le « met en scène ». En effet, dans cette catégorie de « Maître du Jeu », il est pertinent d'inclure aussi une problématique qui devient très importante pour nombre de jeux récents. Il s'agit de la question du placement et du contrôle automatique des caméras virtuelles qui « filment » l'action vécue par le joueur. En effet, ce n'est pas toujours en plaçant la caméra « au niveau des yeux du personnage » (comme cela était fait traditionnellement dans les FPS et autres « jeux à la première personne ») qu'on obtient les scènes les plus informatives et spectaculaires. Cette problématique recoupe en grande partie celle de la mise en scène et de la réalisation du cinéma. Les outils qui gèrent ceci de manière automatique font appel à l'IA en proposant un « réalisateur virtuel » qui décide non seulement du placement des caméras mais aussi des plans réalisés (gros plan, plan large, traveling, etc.). Au-delà de la visualisation, le réalisateur virtuel peut aussi gérer la musique d'ambiance [BRA 05]. Ceci peut se faire en choisissant des plages musicales en fonction de l'état émotionnel du jeu (calme, amusant, tendu, etc.) ou plus subtilement en modifiant des musiques préenregistrées.

Enfin, quoiqu'encore peu exploré jusqu'à présent, l'IA peut aussi jouer un rôle dans un quatrième élément : l'interface même du jeu. Son but ultime, dans ce cas, serait de rendre plus facile la manipulation du jeu, en jouant par exemple le rôle d'un assistant. D'une certaine façon, proposer une semi-autonomie aux personnages qui sont contrôlés par le joueur va déjà dans ce sens. Mais, d'autres possibilités existent, notamment des systèmes d'aide et d'entraînement en ligne, où un agent (visible ou pas) pourrait, selon le contexte du jeu, le niveau du joueur et d'autres considérations, donner des conseils, suggérer des actions, faire des évaluations, etc. Dans ce même esprit, un agent pourrait filtrer des événements pour ne communiquer au joueur que ceux qui sont pertinents selon le contexte. Enfin, l'IA peut être appliquée dans la génération automatique de cartes, les environnements géographiques dans lesquels se déroulent les scénarios de nombreux jeux. Dans l'industrie des jeux vidéo il est courant de donner à l'utilisateur des éditeurs qui lui

permettent de créer ses propres cartes ou simplement de générer automatiquement des cartes différentes de celles du jeu original. Dans ce cas, il est intéressant de pouvoir donner au joueur plusieurs possibilités de cartes « réalistes » du point de vue géographique, prêtes à être utilisées ou prises comme point de départ pour les modifications que le joueur souhaite y apporter.

L'analyse des rapports entre la notion d'adversaire artificiel et celle de PNJ nous a permis d'élargir le spectre des utilisations possibles de l'IA dans les jeux. Ce spectre n'est pourtant que partiel. Un jeu vidéo est un système logiciel complexe, et l'IA n'y a pas seulement un rôle à jouer au cœur de son exécution, c'est-à-dire, pendant une « partie ». Elle peut intervenir comme outil d'aide à la conception ou pendant le développement. Dans les étapes précédant la mise en vente, elle peut aussi intervenir pour le *tuning*, qui correspond aux réglages des paramètres du jeu, en particulier de l'IA pour obtenir des comportements satisfaisants et un jeu plus équilibré.

x.3 Problèmes pouvant bénéficier d'une approche Multi-agents

Dans cette section, nous discutons, avec des exemples concrets tirés des jeux actuels, des problèmes typiquement SMA et nous indiquons quelles techniques pourraient être employées pour les traiter. Nous discutons aussi d'éventuelles améliorations et extensions pouvant intervenir dans les jeux actuels, avec l'aide des SMA, pour qu'ils soient plus performants et/ou plus intéressants du point de vue du joueur.

x.3.1 Problématique des Déplacements

La question des déplacements d'entités (unités, PNJ, ...) est centrale à la plupart des jeux vidéos, depuis les plus anciens, tels que Pac-Man, aux plus modernes, en particulier les FPS, les jeux de stratégie, les jeux de sports, voire aussi pour certains jeux de simulation ou jeux de rôle. La prise en compte d'entités multiples agissant en parallèle pour d'autres (Stratégie, wargames en particulier) fait que les approches multi-agents peuvent s'y appliquer naturellement.

Avant d'aller plus loin, il faut d'ores et déjà reconnaître que beaucoup de développeurs de jeux voyaient dans l'IA, jusqu'à récemment, essentiellement une source d'algorithmes pour la gestion des déplacements d'entités afin d'optimiser les parcours (durée et distances parcourues). Ainsi pour l'industrie, l'algorithme A* [RUS 02] est trop longtemps resté l'arbre qui cache la forêt d'une discipline riche. Ce que nous allons discuter ici, ce sont les problèmes avancés dans la gestion des

déplacements, et en particulier ceux qui peuvent bénéficier d'une approche multi-agents.

Tout d'abord, il est utile d'introduire une première classification des problèmes de déplacements dans les jeux, proposée par Reynolds [REY 99]. Il présuppose le choix d'une destination finale pour une ou plusieurs entités, et décompose la gestion du déplacement selon trois niveaux imbriqués les uns dans les autres, que l'on décrit brièvement ci-après.

Le niveau le plus élevé est celui de la recherche de chemin ou de parcours (ceci recouvre parfois des éléments de tactique qui sont aussi abordés dans la section suivante). Dans un univers 2D ou 3D potentiellement continu, cette étape présuppose généralement la construction d'un maillage réalisant l'abstraction de cet espace en une structure de graphe reliant entre eux un certain nombre de points clés. La recherche de chemin revient alors à construire un plan pour chaque entité reliant son point de départ à son objectif en passant par un certain nombre de points intermédiaires.



Figure x.6. Recherche de Chemin: exemple d'un chemin de déplacement dans le jeu *Battleground*.

Le deuxième niveau est celui du *comportement de conduite* (traduit de l'Anglais *steering behavior*) qui a un impact direct sur l'aspect visuel du déplacement. Etant donné l'objectif final et les points intermédiaires définis au niveau supérieur, il faut définir une trajectoire qui soit à la fois réaliste et crédible pour l'utilisateur, et qui tienne compte d'un certain nombre de contraintes qui ont pu être négligées au niveau supérieur (par exemple, éviter des collisions, simuler l'inertie ou la force centrifuge, etc.).

Un troisième niveau, sur lequel nous ne nous étendrons pas ici, est celui du rendu. Il s'intéresse à l'aspect visuel du déplacement au niveau de l'animation de chaque entité et peut par exemple définir la position des membres du personnage en fonction du temps, voire l'expression de son visage, de façon là encore à obtenir un mouvement crédible pour l'observateur.



(a)



(b)

Figure x.7. (a) *Gran Turismo* et (b) *Halo*: les trajectoires des voitures doivent être réalistes (2^{ème} niveau), ainsi que le rendu dans les mouvements des personnages (3^{ème} niveau)

Reprenons maintenant ces trois niveaux sous l'angle de l'intelligence Artificielle, et plus spécifiquement, des systèmes multi-agents. Au niveau de la recherche des chemins, chaque groupe ou sous-groupe de PNJ dont on veut gérer le déplacement peut en effet être considéré comme un ensemble d'agents dotés d'une certaine autonomie, respectant les contraintes spécifiques au jeu. Dans un FPS par exemple, ce groupe pourra être constitué d'une équipe d'adversaires qui doit parcourir une zone du labyrinthe rapidement, en étant le plus discret possible, en se couvrant mutuellement. Dans un jeu de stratégie ou wargame, il peut s'agir de déplacer une armée constituée de plusieurs dizaines d'unités d'une zone de la carte à une autre, en combinant là encore soucis de rapidité, discrétion, sécurité vis-à-vis d'ennemis potentiels, avec des contraintes qui peuvent par exemple limiter la concentration d'unités dans un même lieu (risque de « bouchons », etc.), soucis de couverture mutuelles (protection des flancs, ...). Pour un jeu de sport de type simulateur de football, il peut s'agir de déplacer plusieurs membres de l'équipe d'une configuration de défense à une configuration offensive lors d'une contre-attaque.

Dans toutes ces situations, une première approche, entièrement distribuée, reviendrait à planifier un parcours optimal pour chaque entité ou personnage pris individuellement. Ceci nécessite tout de même de pouvoir exprimer finement les

objectifs multiples et les contraintes variées dont nous avons donnés quelques exemples plus haut. Si ceux-ci peuvent se combiner dans une fonction heuristique judicieuse, alors des approches de type A* peuvent convenir. Mais cette approche est simpliste car elle ne permet pas de prendre en compte des objectifs ou contraintes inter-agents internes au système, par exemple les limitations sur l'empilement d'entités ou le besoin de couverture mutuelle. La qualité, voire la validité, d'un parcours solution pour un agent dépend de la solution choisie par les autres. Cette dépendance croisée, qui est au cœur de la problématique multi-agents, doit donc être prise à bras le corps dans ce type de problèmes, pour obtenir des solutions de qualité. Ceci nous mène vers des questions de coordination des déplacements (ainsi que dans une certaine mesure, d'allocation de ressources, si l'on considère qu'une position géographique est une ressource en quantité limitée – par exemple dans le cas de la limite d'empilement).

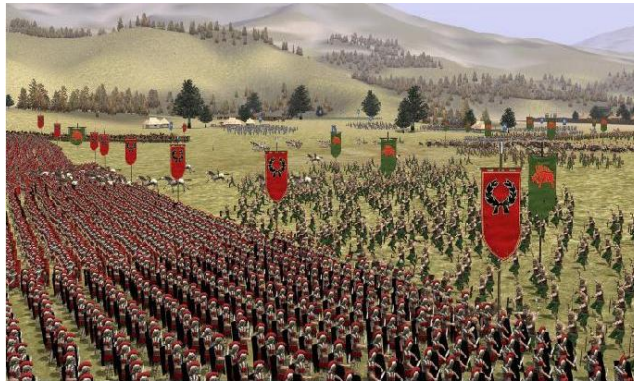


Figure x.8. Rome Total War: illustration de la problématique des déplacements et de la coordination tactique de milliers d'entités

Pour donner un exemple intuitif de ce besoin de coordination, citons un problème qui intervient dans différentes catégories de jeux vidéo, celui de la patrouille menée par un groupe de PNJ (ou patrouille multi-agents). Le but du groupe est qu'un certain nombre de lieux soit visités le plus souvent possible par l'un d'entre eux. Il est évident qu'il ne suffit pas que chaque agent fasse de son mieux, car il est peu utile de visiter des endroits qui viennent d'être visités par un autre agent. Une bonne performance du groupe requiert une bonne coordination [SAN 04].

Si le besoin de coordination multi-agents apparaît clairement dans la planification des parcours de déplacement [FLA 05], il est aussi très présent à un niveau plus fin pour ce qui est des comportements de conduite. En effet, à maintes

occasions, il est important que les déplacements de groupes restent crédibles pour l'observateur. Tout d'abord, il faut que les agents sachent éviter des collisions entre eux et contourner des obstacles correctement. Ceci peut être critique lorsque plusieurs agents doivent tous passer par des zones étroites telles que des portes [REY 99]. Quand une armée se déplace, tout en gardant un certain synchronisme, il faut éviter que les agents répètent exactement les déplacements de ceux qui les précèdent. Même pour les agents peu autonomes, qui font plutôt partie du décor, tels que les oiseaux ou les poissons, le mouvement de chacun par rapport au groupe doit être réaliste. Si un jeu se passe dans une ville, le problème de la simulation crédible de la circulation automobile se pose, ainsi que celui de la simulation des foules [BRA 03], en particulier lorsque des accidents ou d'autres événements perturbateurs se produisent.

x.3.2 Problématique de la prise de décision aux niveaux stratégiques et tactiques – aspects multi-agents

Les jeux qui exemplifient le mieux le dilemme typique entre choix stratégiques visant des objectifs à long terme et choix tactiques correspondants à des objectifs à court terme sont les jeux de stratégies, même si nous verrons brièvement que cette problématique apparaît aussi pour beaucoup des autres catégories de jeux, tels que FPS, RPG ou simulation. La plupart des jeux de stratégie mêlent en effet comme nous l'avons vu d'une part un modèle économique simulant la collecte de ressources et la production d'unités, et d'autre part un niveau militaire où des combats visent à réduire le potentiel économique et militaire de l'adversaire, en prenant le contrôle de son territoire ou en détruisant ses armées. Le joueur peut choisir de privilégier la production d'unités militaires, ce qui lui permet d'obtenir rapidement une force de frappe, et donc possiblement de surprendre son adversaire moins bien équipé, ou bien d'investir d'abord vers un développement économique plus solide, ce qui lui donnera la possibilité de créer des armées plus puissantes, mais dans des délais conséquents, ce qui le laisse temporairement vulnérable face à un adversaire qui serait agressif précocement. D'autre choix, allant des niveaux plus stratégiques aux plus tactiques, doivent être faits. Par exemple, quel type d'unité créer (par exemple, artillerie, infanterie, cavalerie, etc.), quelle avancée technologique poursuivre en priorité, quel type de construction (défensive, offensive) mettre en place en premier, etc. Evidemment, la plupart de ces décisions sont par nature multicritères, ce qui ajoute un niveau de complexité à l'IA.

Dans ces deux niveaux, stratégique et tactique, des problèmes typiquement multi-agents se posent. Pour l'aspect économique, chaque centre de production (généralement un bâtiment ayant des propriétés particulières) peut être vu comme un agent dans un système multi-agents. Imaginons que la production d'un nouveau type d'unité ne puisse se faire qu'à deux conditions : la maîtrise d'une technologie

nouvelle et la disponibilité d'une ressource particulière. Il est évident que rien ne servira d'investir dans une seule de ces deux directions. Plus encore, si ce sont des poursuites de longue haleine, il faudra veiller à ce qu'elles portent leur fruit sensiblement au même moment. On a donc là besoin d'un type particulier de coordination dans un processus de planification multi-agents. L'exemple que l'on vient de donner a le mérite d'être très simple, mais le même type de problème (choix de priorités, définition des tâches, coordination) se retrouve à plus grande échelle, à plusieurs niveaux, et sur des populations de plusieurs dizaines d'agents, simultanément. Enfin, en passant de l'aspect économique à l'aspect plus militaire des jeux de stratégies, on trouve là aussi cette problématique de coordination des unités, et ceci pas seulement au niveau des déplacements comme décrits dans la section x.3.1. Les questions qui se posent sont par exemple le choix de cibles (attaquer les plus dangereuses ? répartir toutes les attaques sur toutes les cibles ou se focaliser sur un petit nombre ?) et la coordination de ces attaques.

x.3.3 Adaptabilité et apprentissage

La notion d'apprentissage et d'agent adaptatif peut être clé pour l'amélioration de plusieurs fonctions de l'IA dans le jeu. La notion d'apprentissage dans ce contexte s'entend généralement à deux niveaux, qui peuvent être éventuellement complémentaires. Le premier niveau, qu'on qualifie de « hors-ligne » dans l'industrie du jeu vidéo, correspond aux processus d'apprentissage qui peuvent être mis en place et appliqués par les concepteurs du jeu *avant* sa commercialisation. Le deuxième niveau, « en-ligne », correspond aux processus d'apprentissage ou d'adaptation à l'œuvre *en cours* d'utilisation par l'utilisateur final, le joueur. Ces deux niveaux constituent une distinction importante car certaines tâches peuvent être abordées en-ligne d'autres hors-ligne, d'autres enfin à l'un et l'autre de ces deux niveaux. A ces deux niveaux, la problématique de l'apprentissage rencontre nécessairement celle du multi-agent : que ce soit pour le tandem joueur humain / joueur artificiel qui peuvent s'adapter simultanément l'un à l'autre, ou que ce soit pour la multitude d'entités ou PNJ qui peuvent adapter simultanément leurs comportements et leurs stratégies.

Au niveau hors-ligne, on trouvera par exemple les techniques utilisant l'apprentissage pour produire automatiquement des tactiques ou des stratégies de jeu, cette approche constituant une alternative à l'utilisation de techniques d'Intelligence Artificielle plus classiques [MAD 06]. Cela peut s'envisager en partant de zéro (l'IA du jeu produit initialement des comportements aléatoires), auquel cas seule l'expérience (résultant par exemple d'une expérience de jeu contre un joueur humain, une autre IA ou bien contre elle-même) permet de converger vers un bon niveau – de performances, crédibilité,... Cela aussi peut concerner uniquement l'ajustement de quelques paramètres pour une IA dont les grandes

lignes ont déjà été définies « manuellement ». On parlera alors plutôt de *tuning* dans l'industrie. Nous reviendrons dans la section 4 sur ces points.

Au deuxième niveau, c'est-à-dire en-ligne, on peut s'intéresser à l'utilisation de techniques d'apprentissage au niveau des agents (PNJ) représentés dans le jeu. Les doter de capacités d'apprentissage peut les rendre plus intéressants pour le joueur, cela peut même devenir un aspect central du jeu dans certain cas. On peut aussi s'intéresser à l'adaptation du jeu dans son ensemble, en particulier en ce qui concerne sa difficulté comme nous le présentons maintenant.

La diversité des joueurs, en ce qui concerne leur expertise dans le jeu, ainsi que leur capacité à évoluer, est très grande. Comme le joueur a un grand degré de liberté dans ses actions et choix, et que ces actions ont des conséquences importantes pour le déroulement du jeu, le développeur doit créer des mécanismes qui garantissent un bon niveau de défi pour tout l'éventail des joueurs. Ce problème est connu comme le problème de l'équilibrage dynamique du jeu (*dynamic game balancing*), selon lequel il ne faut pas que le jeu soit trop difficile pour ne pas frustrer le joueur, ni trop facile pour ne pas l'ennuyer [FAL 04 ; KOS 04].

Pendant la conception du jeu, ce problème peut être en partie contourné en créant un éventail de « niveaux » (étapes, phase, missions, quêtes, etc.), et en permettant que le joueur choisisse un niveau de difficulté prédéterminé (facile, moyen, difficile, héroïque, etc.). Au delà de ces techniques rudimentaires, des mécanismes d'adaptation automatique peuvent s'avérer très utiles pour faire face à ce problème de manière plus subtile, par exemple en changeant le comportement des agents en fonction de la performance du joueur, en particulier quand celui-ci est un débutant [AND 06].

Si, d'une part, cette adaptation sert à rendre le jeu, ou une partie du jeu, plus proche du niveau du joueur, elle peut aussi, d'autre part, être utile pour rendre la machine moins prévisible. En effet, faire un choix optimal d'action n'est pas toujours bienvenu, car, les joueurs peuvent alors plus facilement anticiper les actions des adversaires [SPR 05]. Dans certains cas, il est donc plus difficile, pour un humain, de jouer contre un agent aléatoire [MEY 97]. De plus, il faut que les joueurs soient poussés à changer de stratégie et tactique, comme c'est le cas lorsqu'ils jouent contre d'autres joueurs humains [MAN 02]. Par exemple, dans les combats *joueur contre joueur* du jeu *World of Warcraft*, il faut s'adapter continuellement à travers le choix d'armures, de sorts, de coups, etc., selon la classe, la spécialisation et le niveau de l'adversaire auquel on fait face.

Nous avons parlé de l'adaptation en générale, mais il est évident qu'elle s'applique, à peu près, à tous les rôles de l'IA dans les jeux, en particulier à ceux impliquant plusieurs agents, et donc les systèmes multi-agents. Les problèmes

discutés auparavant, tels que les déplacements et les décisions stratégiques et tactiques, peuvent donc aussi demander des mécanismes d'adaptation.

x.3.4 Crédibilité et rapports sociaux

La construction de personnages virtuels est une problématique bien connue dans le cinéma, la bande dessinée, etc. Toutefois, quand il s'agit du jeu vidéo, on doit placer ses personnages dans une histoire, un scénario, dont le déroulement est en grande partie entre les mains du joueur, puisque ces personnages et le joueur peuvent interagir directement. Dans ce cas, les agents qui implémentent les personnages (souvent appelés Personnages ou Acteurs Synthétiques [PRA 05]) seront d'autant plus pertinents qu'ils seront capables, de façon autonome et crédible, d'exprimer une personnalité propre, avec des attributs diversifiés, ainsi que des émotions. De plus, leurs actions devront être cohérentes avec leur personnalité et leur état émotionnel. Cette problématique commence à être étudiée dans ce que l'on appelle la narration interactive (de l'Anglais *interactive storytelling* [SHE 04]), et est déjà importante pour le jeu vidéo. En effet, dans les jeux de rôle, les jeux d'aventure, ou « jeux de dieu » (Cf. Section x.2.1), l'absence de personnalité propre, de mémoire, ou de cohérence émotionnelle des PNJ peuvent être des éléments rédhibitoires, compromettant l'expérience interactive du joueur et son immersion dans une histoire [CHA 04]. Il serait souhaitable, par exemple, qu'après avoir interagi suffisamment avec un personnage non-joueur tel qu'un marchand, non seulement le joueur soit capable d'inférer les traits de personnalité de ce marchand mais que leur rapport évolue, comme c'est le cas dans la vie réelle avec le boulanger du quartier.

Dans ce souci de crédibilité, tout ce qui concerne la communication est aussi important. Ceci couvre plusieurs aspects, allant de l'expression faciale, à la maîtrise du langage naturel, en passant par reconnaissance de la voix, etc. Ce sont des éléments qui peuvent rendre l'interaction du joueur avec le jeu beaucoup plus naturelle, facile et crédible.

Au-delà du besoin que chaque agent puisse exprimer une personnalité et des émotions, les rapports sociaux entre groupes d'agents doivent être aussi crédibles, ce qui pose des défis importants pour la modélisation des systèmes multi-agents. Par exemple, les notions de possession/propriété, de rapports familiaux ou même amoureux [BAR 02] sont complexes à mettre en œuvre. Toutefois, ils sont nécessaires, particulièrement dans les « jeux de dieu » comme *The Sims*, ou même dans des jeux où ces rapports constituent la toile de fond de l'action principale, comme c'est le cas du comportement de foules dans des villes ou dans les parcs thématiques, tel que dans *Roller Coaster Tycoon*.

x.4 Applications actuelles des SMA dans les jeux vidéo

Autant le panorama exposé dans ce chapitre a permis jusqu'ici de mettre en évidence des opportunités de recherche et un besoin de l'industrie, autant cette section va montrer que l'utilisation actuelle des techniques SMA par l'industrie du Jeu Vidéo peut être légitimement perçue comme en deçà de son potentiel, tout du moins pour ce que l'on peut inférer à partir des publications disponibles et de l'analyse des jeux existants. Cet état de fait peut s'expliquer de plusieurs manières.

D'une part, l'industrie du Jeu vidéo s'est pour une grande partie constituée autour de studios de développement dont la survie dépend du succès du prochain titre. Ceci s'est traduit par une politique plutôt orientée vers l'urgence et le court terme au niveau interne, ainsi que vers le secret pour préserver de la concurrence une éventuelle avance technique ou commerciale au niveau externe. Cette culture entraîne donc une vision de la production où la réutilisation, la constitution de socles technologiques d'une part, et le partage d'expérience technologique dans la communauté d'autre part, ne sont pas des priorités¹. Cela ne veut pas dire que l'industrie n'apporte pas de solutions aux problèmes qu'elle rencontre, bien au contraire ; mais comme nous allons l'apercevoir par la suite, ces solutions sont plutôt de nature ad-hoc, à cause des contraintes présentées plus haut, mais aussi à cause de besoins non fonctionnels, comme les contraintes importantes sur le temps d'exécution et de mémoire. Donc plus qu'une intelligence « profonde », ces jeux peuvent souvent se satisfaire, d'un point de vue commercial, d'une illusion d'intelligence artificielle, ce qui n'est pas forcément un défaut, tant que les joueurs gardent cette illusion.

D'autre part, ce n'est que récemment que les laboratoires ont commencé à s'intéresser sérieusement aux jeux vidéo. Certes, le monde de la recherche propose des techniques, modèles et méthodes générales (par contraste avec la nature ad-hoc de celles trouvées dans les jeux commerciaux) potentiellement utiles pour mettre en œuvre une IA sophistiquée pour les jeux. Mais, il y a encore du chemin à faire pour adapter ces solutions, compte tenu entre autres choses des contraintes de temps d'exécution et la taille des problèmes.

Cet état des choses se traduit dans un grand nombre de jeux par le recours soit à une technique à peu près aussi ancienne que le jeu – la triche, soit à l'utilisation de techniques simples, en particulier les scripts. Dans le cas de la triche, les règles qui s'appliquent au joueur humain ne s'appliquent pas (ou pas de la même façon) à l'adversaire artificiel, et ceci à plus ou moins grande échelle. Cela peut se traduire, par exemple, par l'octroi de ressources supérieures voire illimitées à l'adversaire

¹ Cette situation est cependant en forte évolution, en particulier en France grâce à l'action d'associations de développeurs (APOM, Capital Games, Lyon Games...) ou des nouveaux Pôles de Compétitivité (Cap Digital en Ile de France,...)

artificiel, ou par une visibilité illimitée (l'adversaire a alors une connaissance totale de l'état du jeu, pas le joueur humain). L'essentiel pour l'industrie du jeu est que ces éléments de triche ne soient pas, ou soient peu, détectables par les joueurs. En pratique, ce sont surtout les joueurs qui explorent le jeu en profondeur et longtemps qui détectent ces stratagèmes.

D'un point de vue plus technique, l'utilisation de scripts, qui définissent, souvent à l'aide de règles, un ensemble de comportements figés, a un intérêt pratique important : leur développement est relativement rapide et aisé, leur exécution est très efficace, et les comportements qu'ils induisent sont très prédictibles donc évitent une bonne partie des bugs qu'une IA sophistiquée mais instable pourrait engendrer. L'inconvénient de ce type d'approche est que les techniques utilisant beaucoup de scripts n'induisent pas, dans les faits, une véritable autonomie des PNJ ou de l'adversaire artificiel. Cela se traduit en particulier par une faible réactivité aux comportements des joueurs (la vocation interactive des jeux vidéo est alors mise à mal), et, pire encore, à une répétitivité des comportements générés. De plus, les scripts sont souvent peu réutilisables d'un jeu à un autre, ce qui conduit à des coûts de développement considérables sur le long terme. Ces aspects constituent de vrais points noirs pour grand nombre de jeux actuels et motivent l'industrie du jeu vidéo à s'intéresser maintenant aux techniques d'IA plus à même de dépasser ces limitations – en particulier, les agents intelligents, les systèmes multi-agents, et les agents adaptatifs.

Deux exemples concrets et très illustratifs de l'état d'avancement des solutions adoptées pour la coordination multi-agents employées par l'industrie sont celles du jeu *No one lives forever 2* [ORK 03]. Le premier problème est celui d'éviter que des agents ne suivent exactement le même chemin ni ne se bousculent en arrivant à une destination commune. Non seulement ce comportement ne semblerait pas naturel (il serait presque comique), mais le fait de faire des parcours un petit peu différents peut donner une idée de coordination dans certaines manœuvres, telles que l'embuscade d'un ennemi. La solution proposée pour ce problème est simple et rusée : chaque agent réserve les emplacements (*waypoints*) au long du chemin qu'il a planifié, suscitant ainsi un coût supplémentaires pour les autres agents au cas où ils voudraient passer par les mêmes points. Cela pousse naturellement les agents à trouver des parcours différents, tout en gardant la même destination, donnant « une illusion de coordination des agents » [ORK 03]. Pour rendre cette solution plus efficace, en évitant trop de calcul, l'utilisation de « tableaux noirs » est adoptée (cette approche est d'ailleurs étonnamment présentée comme une innovation par la communauté des développeurs) pour la communication entre les agents, avec un langage de communication *ad-hoc*. On peut imaginer des situations où il faudrait aller plus loin, en ajoutant par exemple de la négociation sur les points en question, ce qui demanderait aussi un langage de communication plus riche.

Un deuxième problème est celui de la coordination lorsque qu'un agent allié B est dans la ligne de tir d'un agent A. L'idée est d'éviter à la fois, que A ne tue B ou que A ne puisse pas tirer, et qu'il perde son temps. La solution proposée est un protocole figé (câblé), mis en œuvre par un langage de communication ad-hoc, qui consiste en plusieurs étapes comme suit : A demande à B de se baisser ; si cela est possible, A tire, sinon A se déplace ; comme B ne peut rester baissé longtemps, ils bougent à tour de rôle, chacun tirant à tour de rôle. C'est encore une fois une solution simple mais suffisante pour donner cette illusion de coordination. On peut, par contre, facilement penser à des situations plus fines de combat où la coordination entre ces agents ne devrait pas être si figée.

Intéressons-nous à l'IA du jeu de Stratégie Temps Réel (RTS) Empire Earth [SCO 02]. Nous avons déjà parlé de l'aspect naturellement multi-agent des jeux de stratégie résultant de la présence de nombreuses entités indépendantes évoluant sur une carte. Dans Empire Earth, l'aspect multi-agents apparaît aussi à un autre niveau. La prise de décision stratégique est décomposée en un certain nombre de sous-tâches, chacune affectée à un agent, appelé un manager (gestionnaire de la tâche en question). Le premier d'entre eux représente une civilisation dans son ensemble, joue le rôle du premier ministre dans un gouvernement en prenant les décisions de haut niveau et en arbitrant entre les autres managers/ministres. Un autre manager s'occupe des constructions de bâtiments dans les villes, en interaction avec le manager de civilisation, et le manager d'unités (les unités sont produites par certains bâtiments). Le suivant gère donc la production d'unités en fonction des besoins à court et long terme, éventuellement en prenant en compte la production du joueur humain. D'autres s'occupent respectivement de la gestion des ressources (matières premières), de la recherche (pour déterminer les avancées technologiques prioritaires), et du combat. Une particularité de cette décomposition multi-agent de la prise de décision pour l'IA d'Empire Earth est qu'elle n'est pas visible au joueur humain. Les différents managers sont des agents virtuels que le joueur ne perçoit pas (ils n'ont pas d'avatar). Il ne perçoit qu'à un certain point les décisions finales du camp adverse. Dans d'autres jeux (comme Civilization), cette décomposition est utilisée comme un élément visible du *gameplay*, l'expérience du joueur. On voit dans cet exemple qu'il y a, chez le développeur, la conscience du besoin d'une organisation des agents selon le rôle de chacun. Evidemment, l'utilisation des résultats de la recherche sur l'organisation des SMA [SIC 05] pourrait permettre d'avoir une répartition des tâches et des rôles plus dynamique et adaptée à la situation du jeu.

Toujours dans le même jeu, Empire Earth, une problématique intéressante abordée est celle de la coordination entre différentes unités de transport (terrestres, aériennes et navales) entre elles et avec les passagers, pour les tâches de rendez-vous, de récupération et de transport de passagers d'un point à autre [SHO 003]. Une des questions intéressantes est celle de la détermination des points de rencontre entre transporteurs et passagers. La solution utilisée est *scriptée* : un point de

rencontre étant fixé, si jamais les passagers sont retenus quelque part ou si le point est bloqué par d'autres unités, un point plus proche du point original est cherché, de façon itérative, jusqu'à ce qu'on en trouve un ou qu'il n'y ait pas de solution (dans ce cas, on repart de la case départ, le point original). On voit ici clairement que l'introduction de mécanismes de coordination [ELF 01], comme la négociation entre passagers et le transporteur, pourrait amener à des solutions plus flexibles pour la fixation des points de rencontre. Dans cette même perspective, il est illustratif de mentionner la « procédure » de récupération pour un groupe de passagers lorsqu'un point de rendez-vous n'a pas été donné préalablement. Le point est fixé à mi-chemin entre la position du transporteur et celle du passager le plus proche. Cette solution, ne prend évidemment pas en compte diverses dimensions telles que : la capacité de déplacement de chaque unité (les transporteurs se déplacent plus vite que les passagers, les blessés moins vite que les autres, etc.), la disposition spatiale des passagers (un point au barycentre pourrait être plus adéquat), ni même les conditions du terrain, etc. Pour le faire, il faudrait de préférence qu'il y ait une forme de communication entre les entités diverses.

Bien entendu, à l'instar de ce qui s'est passé pour le domaine de l'infographie, les techniques couramment utilisées par les laboratoires de recherche en IA commencent à être déjà incorporées dans les jeux. Un exemple est l'utilisation d'une architecture s'inspirant de l'approche BDI (Belief, Desire and Intention) [RAO 91] associée à différentes techniques d'apprentissage (dont des arbres de décision et des réseaux de neurones) dans le jeu *Black & White*, pour permettre aux créatures élevées par le joueur d'apprendre des faits (par exemple, qu'il y a une ville à proximité où se trouve de la nourriture) ; la priorité des désirs (par exemple, savoir quand être gentil ou désagréable) ; comment les objets peuvent répondre aux désirs (par exemple, ne jamais attaquer une créature plus grande).

Enfin, l'industrie propose des avancées. Prenons l'IA du jeu de rôle (JdR, ou RPG) *Neverwinter Nights* [BRO 02] qui constitue un exemple intéressant, car il illustre un cas où l'industrie est à l'origine d'une véritable innovation, par rapport au monde de la recherche. Comme pour les RTS, les RPG de qualité nécessitent que l'IA contrôle un nombre élevé de PNJ qui peuvent être parfois complexes. Si plusieurs centaines sont contrôlés simultanément dans un jeu comme *Neverwinter Nights*, on rencontre un problème de complexité pour que leur modélisation soit suffisamment détaillée et crédible aux yeux de l'utilisateur. Les concepteurs ont apporté une réponse originale à cette question en proposant la notion d'IA à un niveau de détail variable - Level Of Detail AI (LOD) en anglais. La notion centrale, qui s'inspire d'idées venant de la problématique de la visualisation graphique dans les jeux, est que le niveau de détail de la modélisation de l'IA doit être adaptée au niveau d'interaction existant entre le PNJ en question et le Personnage du Joueur. Autrement dit, il faut que les personnages avec qui le joueur interagit directement soient bien plus détaillés que ceux qui en sont très éloignés. Cette approche assure

que l'essentiel du temps CPU affecté à l'IA est utilisé pour les PNJ qui ont un impact sur la crédibilité du jeu. Les différents niveaux de détail et leur impact sont détaillés dans la table ci-dessous [BRO 02].

<i>LOD (niveau de détail)</i>	<i>Catégories</i>	<i>Temps CPU</i>
1	Personnages contrôlés par des joueurs (PJ)	60 %
2	Créatures (PNJ) combattant ou interagissant avec un Personnage Joueur (PJ)	24 %
3	Créatures dans un rayon de 50 m d'un PJ	10 %
4	Créatures dans la même zone qu'un PJ	4 %
5	Créatures dans une zone sans PJ	2 %

Table 1 : Les Niveaux de Détail de l'IA dans Neverwinter Nights

L'impact du niveau de détail ne se limite bien entendu pas à l'utilisation des ressources CPU, mais aussi en particulier à la gestion des déplacements (un parcours détaillé n'est pas nécessaire pour un LOD de 4 ou 5) et des combats (les règles de combats détaillées ne s'appliquent qu'aux niveaux 1 et 2 ; des règles statistiques prédisant le résultat du combat suffisent pour les niveaux 4 et 5).

L'approche LOD de l'IA dans un système multi-agents est une solution efficace d'un point de vue pratique mais n'est pas sans poser de nombreuses questions intéressantes pour les chercheurs. En particulier, un point problématique est que le niveau de détail peut être amené à changer suite aux actions du joueur en plein milieu d'une action. Gérer le changement dynamique du niveau de détail reste un problème ouvert.

x.5 Conclusions

Il y a encore une certaine frilosité du monde de l'industrie vis-à-vis des méthodes développées par le monde de la recherche, mais le rapprochement des deux mondes est en marche, comme en témoignent les nombreuses conférences et revues scientifiques parues dans le domaine des jeux, ainsi qu'une compétition dédiée aux jeux de stratégie¹, et des projets collaboratifs qui ont lieu dans le monde entier, en particulier en France autour des pôles de. Les laboratoires de recherche reconnaissent maintenant de plus en plus dans le jeu vidéo un domaine fécond,

¹ Annual RTS Programming Competition, Artificial Intelligence and Interactive Digital Entertainment (www.aiide.org).

regorgeant de défis et de problèmes de nature générale passionnants pour la recherche. Certains de ces problèmes ont un fort potentiel pour devenir des « banc d’essais » (benchmark) importants pour l’intelligence artificielle [HAN 93], comme cela a été le cas de RoboCup (robots footballeurs), ou encore pour aborder des domaines au-delà des jeux, tels que l’interface homme-machine, la planification, etc. De même, le besoin d’une IA « plus profonde » se fait sentir parmi les joueurs qui demandent des jeux dont les qualités de jouabilité et d’immersion sont encore plus marquées [WOO02]; ceci alors qu’une brèche technique s’ouvre, dans la mesure où plus de ressources machines peuvent être allouées à l’IA grâce aux cartes graphiques qui font l’essentiel du traitement lourd. Enfin, il faut ajouter la mise à disposition sur la Web de nombreux outils, plateformes ou jeux au code ouvert, permettant aux chercheurs en IA de se lancer dans le domaine des jeux vidéo sans avoir à programmer un jeu entièrement (voir liste non exhaustive en fin de chapitre).

Dans ce contexte, nous espérons avoir pu énumérer quelques uns des problèmes pour lesquels une approche multi-agent serait non seulement adéquate mais prometteuse. Bien entendu, il reste encore beaucoup de travail pour améliorer ce qui est déjà employé par l’industrie, adapter et intégrer les résultats de la recherche dans les jeux, étudier des nouveaux problèmes et/ou ajouter de nouvelles fonctionnalités à partir d’une collaboration plus étroite entre laboratoires et industrie. The game is *NOT* over !

Remerciements

Nous tenons à exprimer nos remerciements à plusieurs collègues, collaborateurs et étudiants qui ont contribué, à travers de nombreuses discussions, et parfois des projets menés en commun, à notre vision actuelle du monde de l’IA et des Jeux Vidéo. Mentionnons en particulier : Gustavo Andrade, Charles Madeira, Christophe Meyer, Stéphane Natkin, Hugo Santana, et Olivier Sigaud.

x.6 Références bibliographiques

- [AND 06] Andrade G., Ramalho G., Gomes A. Corruble V., « Dynamic Game Balancing: An Evaluation of User Satisfaction ». Second Annual Artificial Intelligence and Interactive Digital Entertainment Conference. AIIDE ’06. Stanford. 2006.
- [BAR 02] Barnet-Lamb T. Evans R., « Social Activities: Implementing Wittgenstein ». In Proceedings of Game Developers Conference (GDC’02). 2002
- [BRA 03] Braun A., Musse, S., de Oliveira L., Bodmann, B., Modeling individual behaviors in crowd simulation. 16th International Conference on Computer Animation and Social Agents, 2003.
- [BRA 05] Brandon A., *Audio for Games – planning, process and production*. New Riders. 2005

- [BRO 02] Brockington M., « Level-Of-Detail AI for a Large Role-Playing Game », In S. Rabin. *AI Game Programming Wisdom*. Charles River Media. 2002
- [CAI 92] Caillois R., *Les jeux et les hommes*. Gallimard. 1992
- [CHA 04]. Chapman J., Ryder J., and Bell B., « STRATA (Synthetic Teammates for Real-time Anywhere Training and Assessment): An integration of cognitive models and virtual environments for scenario based training ». *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society 48th Annual Meeting*, New Orleans, Louisiana. Santa Monica, CA: HFES. 2004
- [CRA 03] Crawford C., *Chris Crawford on Game Design*. New Riders Games. 2003
- [ELF 01] El Fallah-Seghrouchni Amal. « Modèles de coordination d'agents cognitifs ». In JP. Briot et Y Demazeau, *Principes et architecture des systèmes multiagents*, Ed. Hermes, Lavoisier, 2001. p. 139-172.
- [EVA 02] Evans R. « Varieties of Learning ». In S. Rabin. *AI Game Programming Wisdom*. Charles River Media. 2002
- [FAL 04]. Falstein N., « The Flow Channel ». *Game Developer Magazine*, May Issue, 2004.
- [FLA 05] Flacher F. O. Sigaud. « GACS, an evolutionary approach to the spatial coordination of agents ». *International Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems - AAMAS'05*: 1109-1110. 2005
- [HAN 93] Hanks S., Pollack M., Cohen P., « Benchmarks Testbeds Controlled Experimentation and the Design of Agent Architectures ». *AI Magazine*, Volume 14, Issue 4. 1993. p. 17 – 42.
- [HUI 38] Huizinga J., *Homo Ludens: a study of play element in culture*. Beacon Press. 1938
- [KOS 04] Koster R. & Wright, W., *A Theory of Fun for Game Design*. Paraglyph Press. 2004
- [MAD 06] Madeira C. Corruble V., Ramalho G. « Designing a Reinforcement Learning-based Adaptive AI for Large-Scale Strategy Games », *Second Conference on Artificial Intelligence and Interactive Digital Entertainment (AIIDE'06)*. 2006
- [MAN 02] Manslow J., « Learning and Adptation ». In S. Rabin *AI Game Programming Wisdom*. Charles River Media. 2002
- [MEY 97] Meyer C., Ganascia, J.-G., and Zucker, J.-D., « Learning Strategies in Games by Anticipation ». *Proc. International Joint Conference on Artificial Intelligence*, pp. 698-703, Nagoya. 1997
- [NAT 04] Natkin S., *Jeux Video et Médias du XXIe Siècle : quels modèles pour les nouveaux loisirs numériques ?* Vuibert : Paris. 2004
- [ORK 03] Orkin J., « Simple Techniques for Coordinated Behavior ». In S. Rabin *AI Game Programming Wisdom 2*. Charles River Media. 2003
- [PRA 05]. Prada R. Paiva A., « Believable groups of synthetic characters ». *International Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems - AAMAS'05*: 37-43. 2005
- [PWC 04] Price Waterhouse Coopers – PWC Global Entertainment and Media Outlook: 2004-2008 – Global Overview- 2004. Disponible en www.pwc.com/outlook

- [RAO 91] Rao S., Georgeff P., « Modeling rational agents within a BDI-architecture ». *Proceedings of Knowledge Representation and Reasoning (KR&R-91)*, Morgan Kaufmann Publishers: San Mateo, CA. 1991. p. 473–484.
- [REY 99] Reynolds W., « Steering behaviors for autonomous characters », *Proceedings of the 1999 Game Developer's Conference*. Miller Freeman, San Francisco, 1999. p. 763-782.
- [ROL 00] Rollings A., Morris D., *Game Architecture and Design*. Coriolis: Scottsdale. 2000
- [RUS 02] Russel S., Norvig P., *Artificial Intelligence: a modern approach*. 2nd ed. Prentice Hall. 2002
- [SAL 03] Salen K., Zimmerman E., *Rules of Play: Game Design Fundamentals*. The MIT Press. 2003
- [SAN 04] Santana H., Ramalho G., Corruble V., Ratitch B., « Multi-Agent Patrolling with Reinforcement Learning. *International Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems - AAMAS'04*. 2004. p. 1122-1129
- [SAW 02] Sawyer B., « Serious Games: Improving PublicPolicy through Game-based Learning and Simulation”. Foresight & Governance Project, Woodrow Wilson International Center for Scholars, Washington, DC. 2002
- [SCO 02] Scott B., « Architecting an RTS ». In S. Rabin. *AI Game Programming Wisdom*. Charles River Media. 2002
- [SHE 04] Sheldon, L., *Character Development and Storytelling*. Premier Press. 2004
- [SIC 05] Sichman J., Dignum V., Castelfranchi, C., *Special Issue on Agents Organizations. Journal of the Brazilian Computer Society*, 11(1). 2005
- [SOM 97] Sommerville I., Sawyer D., *Requirements Engineering: A Good Practice Guide*. John Wiley & Sons. 1997
- [SPR 05] Spronck, P., Adaptive Game AI. Ph.D. thesis. Universitaire Pers Maastricht. 2005
- [THE 05] The Economist, « Breeding evil? ». *The Economist*, le 4 Août 2005
- [TUR 50] Turing, A., « Computing Machinery and Intelligence ». *Mind* 59, 236, 1950. p. 433-460
- [VAN 02] van der Sterren, W., « Tactical Team AI Using a Command Hierarchy ». In S. Rabin. *AI Game Programming Wisdom*. Charles River Media. 2002
- [WIR 06] Wired, « The New world of Games”. *Wired*. Avril 2006. p. 110-150
- [WOO 02] Woodcock, S., « Game AI: The state of the industry 2001-2002 ». *Game Developer Magazine*, 9(7), 31. 2002

Annexes

Liste de jeux cités et leurs respectifs éditeurs

• Age of Empires®	Microsoft (www.microsoft.com)
• Battleground®	Talonsoft (www.talonsoft.com)
• Black & White®	Lionhead Studios (www.lionhead.com)
• Brothers in Arms	Ubisoft Entertainment (www.ubi.com)
• Civilization®	Firaxis Games (www.firaxis.com)
• Counter Strike®	Sierra Entertainment (www.sierra.com)
• Challenge Restaurant	Jynx Playware (www.jynx.com.br)
• Diablo	Blizzard Entertainment (www.blizzard.com)
• Fahrenheit®	Quantic Dream (www.quanticroam.com)
• Final Fantasy	Square Enix (www.square-enix.com)
• Gran Turismo®	Sony Computer Entertainment (www.sony.com)
• Halo	Microsoft (www.microsoft.com)
• Neverwinter Nights®	BioWare Corp. (www.bioware.com)
• No One Lives Forever	Monolith Productions (www.lith.com)
• Roller Coaster Tycoon®	Atari (www.atari.com)
• Silent Hunter®	Ubisoft Entertainment (www.ubi.com)
• Sim City	Electronic Arts (www.ea.com)
• Street Fighter®	Capcom Entertainment (www.capcom.com)
• The Sims®	Electronic Arts (www.ea.com)
• Warcraft III®	Blizzard Entertainment (www.blizzard.com)
• World of Warcraft®	Blizzard Entertainment (www.blizzard.com)
• Yu-gi-oh	Konami (www.konami.com)

Ressources en ligne pour la recherche sur l'IA des Jeux Vidéo

Il existe des plateformes, simulateurs et jeux ouverts, permettant aux chercheurs en IA de développer des agents, sans avoir tous les soucis du développement complet du jeu.

- Half Life (www.half-life2.net)
- Quakeforge (www.quakeforge.net)
- RTSCup (www.rtscup.org)
- Unreal Tournament (www.unrealtournament.com)
- Stratagus (stratagus.sourceforge.net)
- Boson (boson.eu.org)
- Glest (glest.jackie3d.org)
- Planeshift (www.planeshift.it)
- GameBot (www.cs.cmu.edu/~galk/GameBots)
- ORTS (www.cs.ualberta.ca/~mburo/orts)
- TIELT (www.nrl.navy.mil/aic/iss/ida/projects/tielt/TIELT.php)