

Simulation de foules

Sébastien Beugnon – Bastien Herbaut

2 décembre 2015

Résumé

Cet article réalise un état de l'art du sujet et de ses applications dans le domaine du jeu vidéo.

Mots clés : simulation de foules, multi-agents, jeu vidéo, agent, Flocking, Boids, approches multi-échelles

1 Introduction

Depuis ces dernières années, avec l'augmentation de la puissance de calculs des ordinateurs, de plus en plus de programmes de grande qualité arrivent sur le marché afin de répondre aux nouveaux besoins de simulation. Ainsi lors de la dernière décennie l'industrie du cinéma, dans le but de réduire l'utilisation de figurants, de décors afin de réaliser des scènes d'envergure, s'est tourné vers la production numérique.

La création assistée par ordinateur pouvait permettre, après le tournage du film, d'ajouter des décors et effets en "post-production". A l'aide de traitements particuliers, les ajouts virtuels (explosions, paysages) sont apparus de plus en plus dans les réalisations cinématographiques. Cependant il n'existait pas encore de réelles méthodes pour réaliser le rendu de foule massive par ordinateur et avec des attitudes cohérentes ; en effet, bien que la simulation de foules était un sujet connu, peu de solutions existaient sur le marché et étaient rarement utilisées hors des jeux vidéo.

Pour la réalisation de la trilogie du Seigneur des Anneaux, le réalisateur Peter Jackson a contacté les studios de Weta Digital situés en Nouvelle-Zélande afin de réaliser des scènes de batailles réalistes sans avoir à diriger des milliers de figurants : c'est ainsi qu'a débuté le développement de MASSIVE.

1.1 MASSIVE

MASSIVE est l'acronyme de "Multiple Agent Simulation System in Virtual Environment" littéralement Système de simulation d'agents multiples dans un Environnement Virtuel. Cet outil permet la génération de foules comme son nom l'indique à l'aide d'un système multi-agent. Cette approche entreprise par Stephen Regelous le directeur de Massive Software remet en avant l'approche orientée agent en montrant un produit de très grande qualité.



FIGURE 1 – MASSIVE en action avec plus de mille agents

Grâce à son architecture, MASSIVE est capable de gérer des milliers agents voire des millions sur les scènes pour le cinéma ; de plus chacun d'entre eux sont capables d'agir en tant qu'individu ayant connaissance de l'entourage et pouvant agir en fonction des autres agents. Ainsi leur cerveau est défini à l'aide d'un automate par les programmeurs auquel s'ajoute des animations pré-enregistrées pour chaque action à l'aide d'animateurs ou bien de sessions d'enregistrement en motion-capture. Le programme s'occupe ensuite de produire les mouvements intermédiaires à l'exécution par mélange de tous les mouvements enregistrés et les comportements de l'agent.

Avec seulement ces fonctionnalités, le programme a su marqué un tournant dans la production de films et est toujours à ce jour leader sur sa part de marché. Depuis sa commercialisation MASSIVE a augmenté son panel de fonctionnalités regroupant ainsi de la gestion dynamique de corps rigide, la simulation de vêtements (tissus), mais aussi des optimisations de rendu directement en GPU et plusieurs agents pré-conçus comme des agents de foules de stade, des émeutiers s'affrontant, un agent capable de comparer la hauteur du sol autour de lui afin de prendre le chemin le plus confortable ou bien des agents se promenant et interagissant entre eux.

2 Les différentes méthodes

De nombreux modèles mathématiques ont été produits pour résoudre les problèmes de simulation de foules, certains d'entre eux sont implémentées car facilement compréhensible et insérable dans un système multi-agent. Depuis l'arrivée de MASSIVE, la simulation de foules a trouvé un moyen de s'exprimer dans les systèmes multi-agents en se plaçant au niveau de l'individu et de ses perceptions distribuant ainsi les calculs à l'objet élémentaire du système.

2.1 Flocking

Le déplacement en escadrille est l'élément de base de la simulation multi-agent, les premiers modèles de déplacement fluide en formation ont commencé à apparaître dans les années 90 ces derniers étaient généralement basés mathématiques et centralisés dans un contrôleur. C'est dans ce contexte qu'est arrivé, les travaux de Craig Reynolds [2] sont apparus : Les Boids.

2.1.1 Modèle Boids

A travers les Boids, Craig Reynolds cherchait à représenter le mouvement d'oiseaux migrateurs ; il a ainsi déterminé que le mouvement des oiseaux étaient basés sur le comportement individuel de chaque membre de la formation et non par le leader de la formation. Ce modèle regroupe deux contraintes simples : - La vitesse de déplacement, est constante afin que les entités se déplacent à la même vitesse - La vitesse angulaire est limitée, afin d'éviter des événements non réaliste comme l'alignement spontané.

Ainsi son approche se veut distribuée et donc calculée localement autour de l'entité. Son modèle se découpe en trois parties principales :

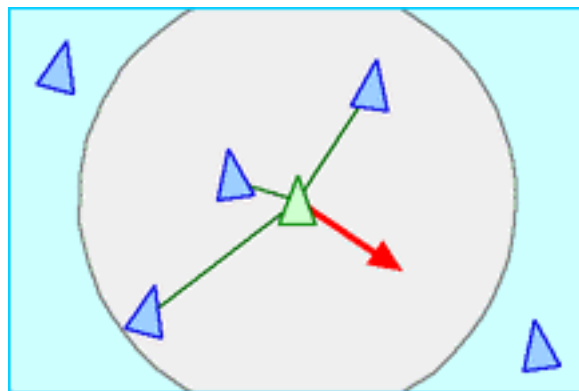


FIGURE 2 – Modèle Boids - Séparation

Dans la figure ci-dessus, le chercheur illustre la Séparation : il s'agit de l'étape écartant les entités entre elles pour éviter qu'elles se touchent ou se trouvent sur la même position. L'entité courante recherche ses voisins proches et pour chacun d'entre eux il calcule le vecteur résultant et le multiplie par l'inverse de la distance séparant les deux entités puis somme le tout. Le vecteur résultant de ce calcul donne ainsi la direction vers laquelle l'entité doit se diriger pour éviter des collisions. L'utilisation de l'inverse de la distance pondère l'importance de chaque vecteur sur un espace normé.

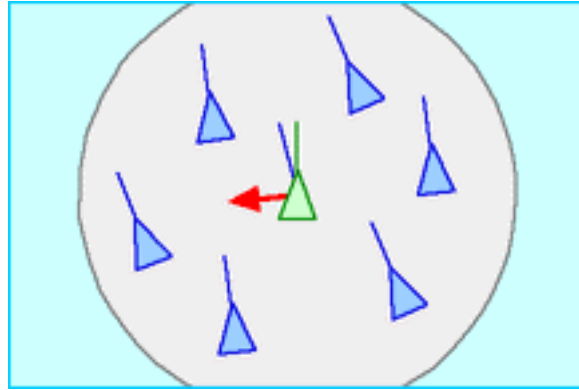


FIGURE 3 – Modèle Boids - Alignement

L'Alignement est l'étape dans laquelle chaque entité va tenter de se tourner dans la même direction que ses voisins il s'agit alors de la moyenne des vecteurs directions de chaque entité. Bien qu'un vecteur d'alignement peut être grandement différent de la direction actuelle, la vitesse angulaire (ou de rotation) étant bornée l'agent va entamer une manoeuvre de retournement sur plusieurs itérations.

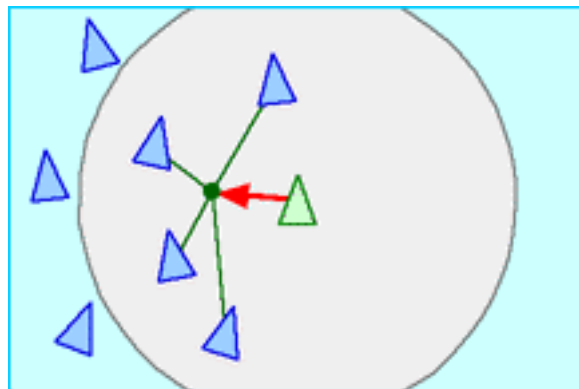


FIGURE 4 – Modèle Boids - Cohésion

La dernière étape, la Cohésion, consiste à diriger l'entité courante vers le barycentre de ses voisins afin de modéliser l'attraction des entités isolées vers les grands groupes. En sommant les trois vecteurs produits précédemment on obtient le vecteur direction vers lequel l'entité devra se diriger pour s'intégrer dans l'escadrille. La beauté de ce modèle réside dans le fait qu'il peut être réalisé de plusieurs manières ; que cela soit avec une approche orientée agent (en tant que machine d'état finie) ou une approche mathématique (vectorielle), les Boids sont devenus un modèle standard de mouvement de foules. Et l'ajout de nouvelles informations comme des obstacles peuvent se faire facilement avec l'approche vectorielle.

2.1.2 Évitements

L'approche Boids de Craig Reynolds possèdent néanmoins des faiblesses ; en effet, lorsqu'on réalise des agents cherchant à rejoindre des buts positionnées pour que les entités se rencontrent un point ces derniers ont tendance à se repousser jusqu'à ce qu'un des deux soit en position de faiblesse et laisse passer l'autre. L'approche simpliste Attraction/Répulsion est un des autres modèles vectoriels mis en place pour la simulation de foules.

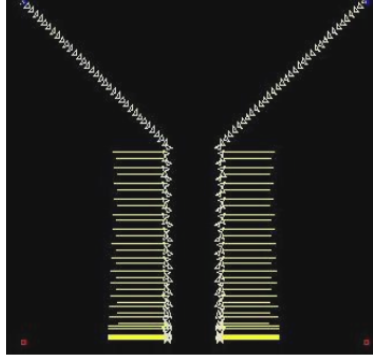


FIGURE 5 – Problème d'évitement

Pour résoudre ce problème de manière dynamique, cette approche rajoute un nouveau vecteur appelé "Force d'évitement" qui se trouve être le vecteur résultant du produit vectoriel du vecteur d'Attraction et du vecteur de Répulsion.

2.1.3 Champs de potentiel

Les champs de potentiel permettent quant à eux de gérer les attractions des buts et les répulsions des obstacles statiques à un environnement. Un champ de potentiel est une fonction qui associe à tout points de l'environnement une valeur numérique considéré comme la valeur du champ en ce point.

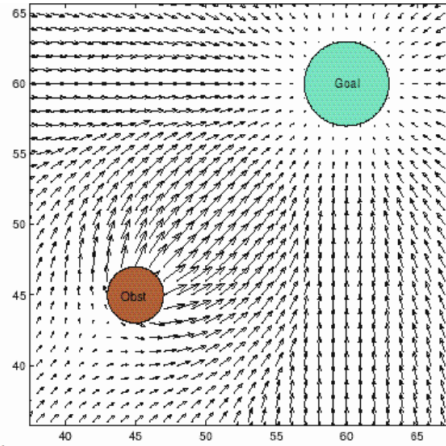


FIGURE 6 – Exemple de champs de potentiel

Ainsi on génère sur l'environnement une matrice de gradient facilitant les agents à choisir des directions pour éviter les obstacles et se diriger vers leurs buts. S'inspirant de la physique des astres célestes, les champs de potentiel permettent de créer des couloirs ou des zones de dangers dans lesquels les entités ont tendance à s'engager comme les routes et trottoirs dans les simulations de foules urbaines.

2.2 Navigation

La simulation de foules englobent en plus des mouvements en formation, les mouvements dirigées par des buts. Ainsi on retrouvera dans ce domaine plusieurs solutions d'exploration de l'environnement.

2.2.1 Waypoint

La technique Waypoint (ou point de navigation), utilise des grilles (ou patches en anglais) pour définir des zones de déplacement pour les agents. Grâce à ces grilles, il est possible d'employer des algorithmes de plus court chemins pour que les agents prennent le chemin le plus réaliste pour atteindre un point à un autre. Grâce

à ceci, les utilisateurs peuvent définir des points de passage obligatoires ou de rassemblement pour les agents d'une simulation afin de simuler des comportements de patrouille. Cependant cette méthode est limitée car elle limite la taille de l'environnement mais aussi peut entraîner des problèmes avec des agents d'échelle différente.

2.2.2 Navigation Mesh (Maillage de navigation)

Ainsi le maillage de navigation arrive pour compenser les problèmes de navigation sur des grilles en utilisant directement le maillage du terrain. Il ne permet pas de venir à bout des problèmes d'échelles mais cette technique permet d'accélérer les recherches de chemin en utilisant directement le sol de la réalité virtuelle. Cela requiert de produire en amont le Navigation Mesh ce qui peut entraîner des coûts en mémoire important pour l'application.

2.3 Approche multi-échelle

2.3.1 Présentation

L'approche multi-échelle est une méthode qui permet de faire interagir des agents de tailles différentes entre eux. Il permet également de réduire le nombre de calculs de collision qui sont à effectuer dans les cas où les agents présents dans la scène ont des tailles très différentes.

Tout d'abord commençons avec un exemple d'utilisation, sur l'image qui suit, vous pouvez voir deux agents, un de grande taille, que nous appellerons A, et un de petite taille, l'agent B.

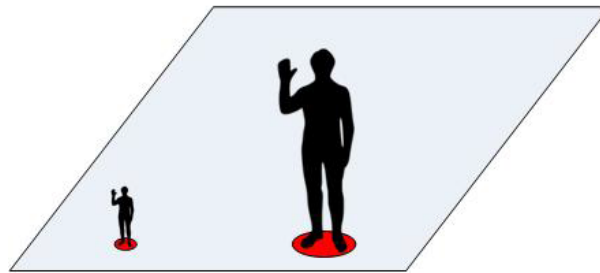


FIGURE 7 – Problème d'échelles dans les simulations de foule

En utilisant une méthode "classique" pour simuler l'interaction entre A et B, il faudrait prendre en compte les deux cercles rouges comme étant les zones de collisions possibles entre nos agents.

Du point de vue de l'interaction entre les agents, cela impose une restriction sur le champ d'action qui peuvent être effectué. En effet, l'agent B ne peut pas passer entre les jambes de l'agent A, hors selon le contexte dans lequel on utilise cette simulation, ce genre d'interaction peut être nécessaire.

De plus au niveau du calcul des collisions entre A et B, beaucoup de faux positifs peuvent apparaître du fait de la taille de l'agent A par rapport à l'agent B. Par exemple l'agent B pourrait être devant les pieds de l'agent A, ce que l'on considérerait comme une collision à première vue. Ce faux positif nécessitera donc un calcul de collision plus poussé pour vérifier si la collision a lieu, cela constitue donc du temps de calcul perdu.

Dans le but de remédier à ces deux problèmes, l'approche multi-échelle utilise plusieurs niveaux d'interaction ainsi que plusieurs zones de collisions par agents.

Si on reprend notre exemple avec les agents A et B, on peut représenter notre scène avec deux niveaux d'interaction et 4 zones de collision comme sur la figure suivante.

Comme on peut le voir, l'agent A est maintenant représenté par 3 zones de collisions, 2 sur le premier niveau d'interaction et une au second niveau. Cela permet de rendre plus précis la première passe de calcul des collisions entre les deux agents, ainsi on gagne en temps de calcul et en réalisme des interactions.

En effet les calculs de collisions sont maintenant fait par niveau d'interaction, ainsi pour l'agent B il existe uniquement les deux zones de collisions qui correspondent aux pieds de l'agent A, il peut donc aller librement en dessous de ses bras sans déclencher de calcul de collision.

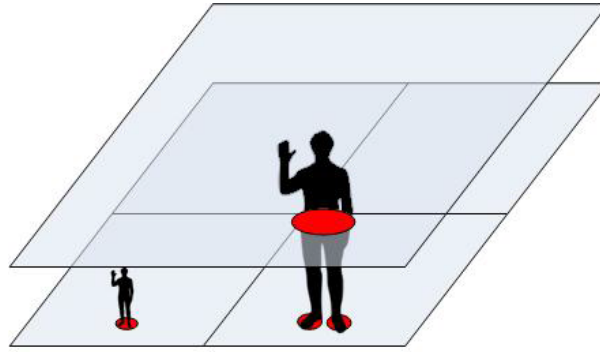


FIGURE 8 – Présence sur plusieurs environnement

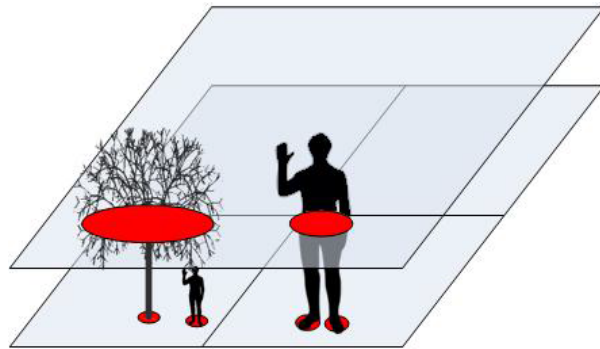


FIGURE 9 – Présence sur plusieurs environnements (2)

2.3.2 Optimisation par QuadTree

Pour optimiser la recherche des agents voisins lors du calcul des collisions, il est possible d'utiliser la structure QuadTree, une structure d'accélération de recherche en deux dimensions. Sur la figure suivante on peut observer l'optimisation effectuée permet de visiter seulement une partie de la scène pour vérifier les collisions au lieu de visiter toute la scène.

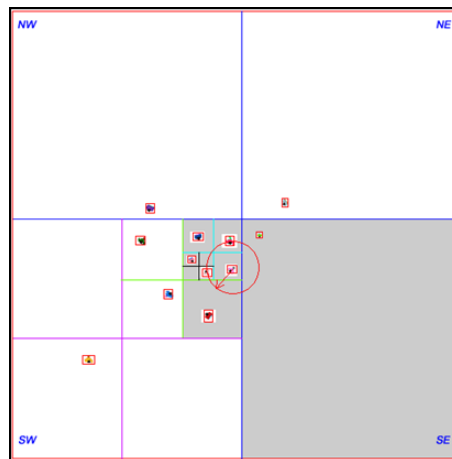


FIGURE 10 – Optimisation par quadtree

2.3.3 Utilisation

Grâce a un algorithme basé sur la simulation de foule multi-échelle, il est possible de modéliser des scènes avec plusieurs niveaux ainsi que des scènes non planaire. Cela est dû au fait que le comportement d'un agent est uniquement influencé par son environnement immédiat et non pas par toute la scène.

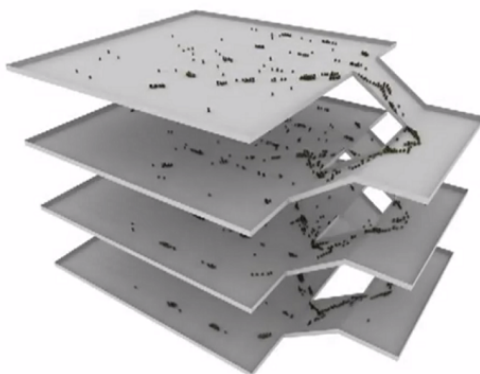


FIGURE 11 – Agents de différentes tailles sur une même surface

2.4 Proxy Agents

2.4.1 Présentation

La méthode des proxys agents a pour principe d'ajouter à certains agents des plugins qui vont altérer soit leurs comportements soit le comportement des autres agents à leur égard. Dans ce document, nous allons nous intéresser à trois proxys spécifique : le proxy d'agression, le proxy de priorité et le proxy d'autorité.

2.4.2 Proxy d'agression

Comme son nom l'indique, ce proxy permet de simuler de l'agressivité sur un agent. Lorsque l'on met ce proxy sur un agent, les autres agents vont avoir tendance à "fuir", donc à s'éloigner, de l'agent. Les agents "équipés" de ce proxy ont tendance à atteindre leur objectif plus rapidement que les autres agents.



FIGURE 12 – Agent composite - Proxy d'agression

Sur la figure précédente vous pouvez voir ce qui se passe lorsqu'un agent équipé de proxy d'agression, l'agent rouge, rencontre un groupe d'agents sans proxy. Un peu avant la rencontre, l'agent agressif commence à faire apparaître le cercle noir ce qui simule son agressivité puisque les agents sans proxy son programmé pour éviter ce cercle. Plus l'agent rouge se rapproche du groupe, plus le cercle noir grossit, une fois le groupe dépassé, le cerlce se résorbe jusqu'à disparaître.

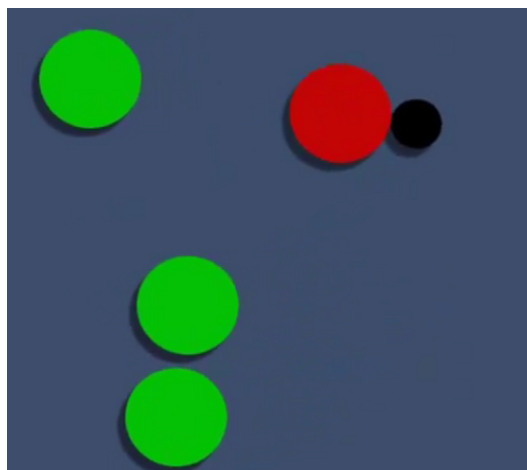


FIGURE 13 – Agent composite - Proxy d'agression

2.4.3 Proxy de priorité

Ce proxy a pour but de simuler la priorité entre plusieurs agents dans des endroits étroits comme par exemple le seuil d'une porte. L'image qui suit représente une telle situation, les agents sans proxy veulent tous passer la porte pour aller vers le haut et l'agent qui a le proxy va dans le sens inverse.

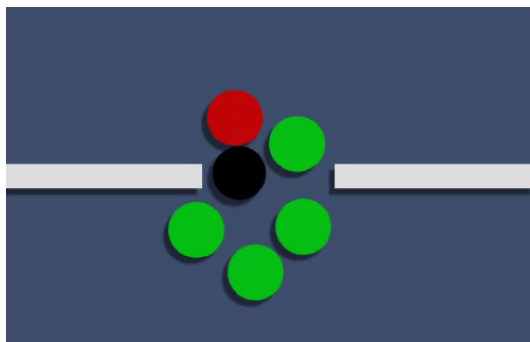


FIGURE 14 – Agent composite - Proxy de priorité

Dans ce genre de situation, l'agent équipé du proxy va éviter d'être bloqué d'un côté de la porte à cause des autres agents. Pour cela l'agent place le cercle noir, qui représente toujours une zone à éviter pour les agents sans proxy, sur le seuil de la porte. Une fois que l'agent a passé le seuil de la porte, le cercle se résorbe et disparaît.

Cette méthode est efficace pour simuler le comportement de personnes qui descendent et montent dans un train par exemple, les personnes qui descendent sont équipées de ce proxy et celles qui montent n'en sont pas équipées. Ainsi avant de monter dans le train, les personnes attendent que tous les passagers qui veulent descendre l'est fait.

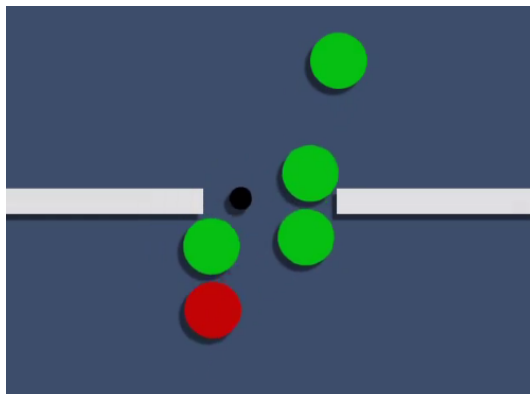


FIGURE 15 – Agent composite - Proxy de priorité

2.4.4 Proxy d'autorité

Le proxy d'autorité permet d'attribuer à un groupe d'agents une autorité sur les autres agents. Son but est de permettre au groupe d'agents équipé du proxy de rester en formation, les autres agents ne peuvent pas se placer entre les agents équipés de ce proxy. Seul les agents équipés du proxy peuvent marcher sur le cercle noir.

Dans cet exemple, les agents équipés du proxy avancent du haut vers le bas, on voit que l'agent qui n'a pas de proxy ne peut pas passer entre deux agents rouges, il ne peut pas briser leur formation. Cela permet notamment de pouvoir simuler le comportement d'un groupe de policiers face à la population. Un petit groupe de policiers suffit pour maintenir le calme sur une foule bien plus important en nombre.

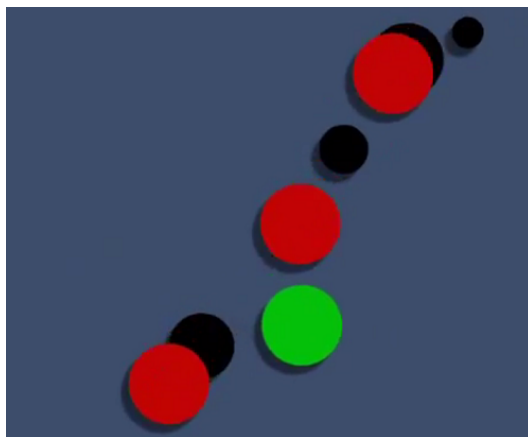


FIGURE 16 – Agent composite - Proxy d'autorité

3 Usage dans les jeux vidéo

Dans l'industrie du jeu vidéo, la simulation de foules peut servir dans de nombreuses thématiques comme la simulation, la gestion, la stratégie ; ainsi sur des jeux appartenant à ces catégories comme Sim City, Sims, Age Of Empire 2 utilisant des techniques de grilles ou de déplacement en formation les approches multi-échelles ou le "Flocking" ont permis à ces jeux de développer une partie servant l'animation de leur jeu.

Cependant l'ajout de simulation de foules dans les jeux vidéo, possède un coût non négligeable pour ces derniers ; en effet, l'expérience du joueur est principale dans le jeu vidéo et ne doit donc pas pâtir par les fonctionnalités additionnelles. Les techniques d'escadrilles permettent à faible coût de produire des mouvements réalistes de foules vers des positions qui seront pré-enregistrées comme des points de navigation pour les différents agents.

Les jeux vidéo ne sont pas des simulations, de ce fait il n'est pas nécessaire de faire fonctionner les agents éloignés du joueur. Comme pour le rendu de maillages dans un jeu, on peut définir différents niveaux de détails d'autour du joueur ans la simulation des personnages non joueurs : cette approche "joueur centré" permet de mettre en scène de manière localisée une simulation laissant au joueur une impression de continuité dans son exploration. Cette méthode est souvent employée par les jeux de type RPG, action et exploration comme la licence Assassin Creed d'Ubisoft.

4 Conclusion

Grâce à l'arrivée des systèmes multi-agents, les avancés sur la simulation de foules ont grandement progressé d'autres outils que MASSIVE de Massive Software sont arrivés sur le marché comme Golaem Crowd ou bien Miarmy des middlewares s'intégrant à des outils de production 3D comme les produits Maya pour finir des outils de simulation à des artistes. De nombreux produits sont maintenant insérable au sein des moteurs de jeux comme Unreal Engine et Unity. La simulation de foules est un sujet qui prend de plus en plus d'ampleurs aujourd'hui dans le cinéma, le jeu vidéo et les exercices d'évacuation simulés. Il s'agit d'un domaine de technologie de pointe recherchant toujours de nouveaux moyens pour optimiser et développer des systèmes plus large et plus rapide.

Table des figures

1	MASSIVE en action avec plus de mille agents	1
2	Modèle Boids - Séparation	2
3	Modèle Boids - Alignement	3
4	Modèle Boids - Cohésion	3
5	Problème d'évitements	4
6	Exemple de champs de potentiel	4
7	Problème d'échelles dans les simulations de foule	5
8	Présence sur plusieurs environnement	6
9	Présence sur plusieurs environnements (2)	6
10	Optimisation par quadtree	6
11	Agents de différentes tailles sur une même surface	7
12	Agent composite - Proxy d'agression	8
13	Agent composite - Proxy d'agression	8
14	Agent composite - Proxy de priorité	9
15	Agent composite - Proxy de priorité	9
16	Agent composite - Proxy d'autorité	10

Références

- [1] Illustration Boids, [http : //www.red3d.com/cwr/boids/](http://www.red3d.com/cwr/boids/)
- [2] Interaction with Groups of Autonomous Characters, *Craig Reynolds, C. W. (2000), in the proceedings of Game Developers Conference 2000, CMP Game Media Group (formerly : Miller Freeman Game Group), San Francisco, California, pages 449-460.*
- [3] QuadTree, [https : //www.youtube.com/watch?v = wWujSqWhYc/](https://www.youtube.com/watch?v=wWujSqWhYc/)
- [4] Approches Multi-échelle Urbaine,
[http : //david.cazier.free.fr/CrowdSimulation/](http://david.cazier.free.fr/CrowdSimulation/)
- [5] Approches Multi-échelle,
[https : //www.cs.auckland.ac.nz/research/gameai/dissertations/Hurk_BSc09.pdf](https://www.cs.auckland.ac.nz/research/gameai/dissertations/Hurk_BSc09.pdf)
- [6] Composite Agents, [http : //gamma.cs.unc.edu/CompAgent/](http://gamma.cs.unc.edu/CompAgent/)
- [7] Ubisoft, Assassin Creed Unity
- [8] Microsoft, Age of Empires II