

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Mohamed KHIDER - BISKRA
Faculté des Sciences exactes et de Sciences de la nature et de la vie
Département d'Informatique



N° d'ordre: IVA22/M2/2021

Mémoire
Présenté pour obtenir le diplôme de master académique en
Informatique

Parcours : Image et vie artificielle (IVA)

L'influence des obstacles
Dans
l'évacuation de la foule.

Par :
GRAIRI FAIROUZ

Foudil CHERIF

MC Université de Biskra

Rapporteur

MC Université de Biskra

Examineur

MC Université de Biskra

Examineur

À mes parents

À toute ma famille

Mes chers enfants : Achraf , Zahra,Hiba

À tous ceux qui me sont chers

Remerciements

Tout d'abord je remercie Dieu tout puissant qui m'a guidé vers le bon chemin.

Mes remerciements vont à mon encadreur, Mr Foudil CHERIF, Professeur à l'Université Mohamed Khider de Biskra, qui a assuré la direction de mon travail à travers ses orientations et son aide dans la réalisation de ce travail.

Mes sincères remerciements vont également à mon père et ma mère.

Finalement, je remercie dieu à la réalisation de ce travail.

Sommaire :

<i>Liste des figures</i>	1
<i>Liste des tableaux</i>	3
<i>Résumé</i>	4
<i>Abstract</i>	5
<i>ملخص</i>	6
<i>Introduction générale</i>	7
<i>Chapitre 1 : Simulation de comportement</i>	9
1.1 Introduction	10
1.2 Notion de comportement.....	10
1.3 Modèle du comportement humain	11
1.4 Notion de Simulation de comportement	15
1.5 Modèles de transformation externe	16
1.5.1 Boids de C. Reynolds – 1987	16
1.5.2 Le comportement d'individu.....	18
1.5.2.1 Comportement de recherche et de fuite.....	18
1.5.2.2 Comportement de poursuite et évation.....	19
1.5.2.3 Comportement d'arrivée	19
1.5.2.4 Comportement d'évitement d'obstacles	20
1.5.3 Le comportement de groupes	21
1.5.3.1 La séparation.....	22
1.5.3.2 La cohésion	22
1.5.3.3 L'alignement	23
1.5.3.4 Le suivi de chef.....	23
1.6 Conclusion	24
<i>Chapitre 2 : Etude de l'évacuation de foule</i>	25
2.1 Introduction	25
2.2 Le piéton virtuel et leur environnement externe.....	26
2.3 Notion de foule humaine	27
2.4 Les modèles microscopiques et macroscopiques	32
2.4.1 Modèles macroscopiques	32
2.4.2 Modèles microscopiques	33

2.5	L'évacuation de foule	35
2.6	Situation de foule cas panique possible	38
2.7	Conclusion	39
Chapitre 3 : La conception de l'évacuation de la foule.		40
3.1	Introduction	41
3.2	L'objectif de notre système	41
3.3	Analyse des besoins	42
3.3.1	1 L'automate cellulaire	42
3.4	L'architecture logicielle dédiée à la simulation	44
3.4.1	Conception globale de notre système	44
3.4.2	Conception détaillée	45
3.4.2.1	Structure de notre système :	45
3.5	Modélisations UML	53
3.5.1	Diagramme de classe	53
3.5.2	Diagramme d'état de transition	55
3.6	Conclusion	55
Chapitre 4 : Implémentation et résultats.		56
4.1	Introduction	57
4.2	L'environnement de développement	57
4.2.1	L'outil d'implémentation	57
4.2.2	Présentation de logiciel Anylogic	58
4.2.2.1	L'espace de la scène sous le logiciel AnyLogic :	59
4.3	Méthode de simulation.....	62
4.4	L'interface principale de notre application	63
4.5	Structure du Code.....	64
4.6	Les différents composants du code :	65
4.6.1	Agent :	65
4.6.2	Evènement	65
4.6.3	Outils de programmation.....	65
4.6.4	Fonction	66
4.6.5	Variables	67
4.7	Résultats et validation.....	68
4.7.1	Initialisation de la scène	68
4.7.2	Déplacement normale	69

4.7.3 Situation de cas panique	69
4.7.4 Evacuation de foule	70
4.7.5 Calcul de temps d'évacuation	70
4.8 Optimisation de temps d'évacuation de foule cas Panique	71
4.9 Conclusion	78
<i>Conclusion générale</i>	79
<i>Références bibliographiques</i>	80

Liste des figures

FIGURE 1. 1 : STRUCTURE DU MODELE COMPORTEMENTAL [1].	11
FIGURE 1. 2 : L'ARCHITECTURE COGNITIVE HUMAINE SELON A. NEWELL [19].	12
FIGURE 1. 3 : ARBRE DE DECISION EXTRAIT DES TRAVAUX DE BLUMBERG [3].	13
FIGURE 1. 4 : DECOMPOSITION DE L'ESPACE EN GRILLE REGULIERE A 2DIMENSIONS [32].	14
FIGURE 1. 5 : BOIDS DE C. REYNOLDS [27].	17
FIGURE 1. 6 : LE COMPORTEMENT DE RECHERCHE ET DE FUITE [27].	18
FIGURE 1. 7 : LE COMPORTEMENT DE POURSUITE ET D'EVASION [27].	19
FIGURE 1. 8 : LE COMPORTEMENT D'ARRIVE [27].	20
FIGURE 1. 9 : L'EVITEMENT D'OBSTACLE [27].	20
FIGURE 1. 10 : LE COMPORTEMENT D'EVITEMENT DE COLLISION NON-ALIGNEE [28].	21
FIGURE 1. 11 : LE COMPORTEMENT DE SEPARATION [27].	22
FIGURE 1. 12: LE COMPORTEMENT DE COHESION [27].	22
FIGURE 1. 13 : LE COMPORTEMENT D'ALIGNEMENT [27].	23
FIGURE 1. 14 : LE COMPORTEMENT DE SUIVI DE CHEF [27].	23
FIGURE 2. 1 : LES TROIS ECHELLES D'OBSERVATION DES PIETONS [36].	27
FIGURE 2. 2 : FOULE LORS DE DAS FEST A KARLSRUHE.	28
FIGURE 2. 3 : FOULES HOMOGENES[9].	28
FIGURE 2. 4: COLLECTION D'AGENTS [9].	29
FIGURE 2. 5 : GROUPE[9].	29
FIGURE 2. 6:LE GRAND EVENEMENT DE HAJJ [9].	30
FIGURE 2. 7 : FORMATION DE PLUSIEURS SOLDATS [9].	31
FIGURE 2. 8: INTERACTIONS DE PERSONNES AU SEIN D'UNE ARCHITECTURE[9].	31
FIGURE 2. 9: DOMAINES DE RECHERCHE DE LA SIMULATION DE FOULE [30].	32
FIGURE 2. 10 : DEPLACEMENT A PIED DANS UNE ROUTE.	36
FIGURE 2. 11 : SITUATION DE LA FOULE [30].	38
FIGURE 3. 1: GOULOT D'ETRANGLEMENT [5].	41
FIGURE 3. 2 : DECOMPOSITION DE L'ESPACE EN GRILLE REGULIERE A 2 DIMENSIONS.	43
FIGURE 3. 3: REPRESENTATION DE L'ESPACE DU MODELE DU CHOIX DISCRET.	44

FIGURE 3. 4: CONCEPTION GLOBALE	45
FIGURE 3. 5 : ORGANISATION DU SYSTEME	46
FIGURE 3. 6 : MODELISATION DE LA SCENE.....	47
FIGURE 3. 7 : LA BOUCLE PERCEPTION-DECISION-ACTION	48
FIGURE 3. 8: LES TYPES DE COLLISIONS	50
FIGURE 3. 9 : MOUVEMENT DE PANIQUE DANS UNE FAN-ZONE A TURIN	51
FIGURE 3. 10 : ÉVACUATION DE FOULE CAS PANIQUE.	52
FIGURE 3. 11 : LE TEMPS D'ÉVACUATION.....	53
FIGURE 3. 12 : DIAGRAMME DE CLASSE.	54
FIGURE 3. 13: DIAGRAMME D'ÉTAT DE TRANSITION	55
FIGURE 4. 1 : LA FENETRE PRINCIPALE DE ANYLOGIC.....	59
FIGURE 4. 2 : L'AUTOMATE CELLULAIRE.	60
FIGURE 4. 3 : PALETTE.....	60
FIGURE 4. 4: PROJECT.	61
FIGURE 4. 5 :ÉDITEUR GRAPHIQUE.....	62
FIGURE 4. 6 : PROPERTIES VIEW.	62
FIGURE 4. 7 : STRUCTURE DE SIMULATION.....	63
FIGURE 4. 8 : FENETRE PRINCIPALE DE NOTRE APPLICATION.....	63
FIGURE 4. 9 : LES COMPOSANTS DU CODE.	64
FIGURE 4. 10 : EXEMPLE D'UN MOTEUR D'EXECUTION.	65
FIGURE 4. 11 : CODE DE FONCTION THEPOINT.	67
FIGURE 4. 12 : LA SCENE INITIALE.	68
FIGURE 4. 13 : DEPLACEMENT NORMALE.....	69
FIGURE 4. 14 : CAS PANIQUE.	69
FIGURE 4. 15 : L'ÉVACUATION DE FOULE EN CAS DE PANIQUE.	70
FIGURE 4. 16 :LE TEMPS D'ÉVACUATION.	70
FIGURE 4. 17: NOMBRE D'OBSTACLES.	72
FIGURE 4. 18 : INFLUENCE NOMBRE D'OBSTACLE ET TEMPS D'ÉVACUATION.	73
FIGURE 4. 19 : POSITION DES OBSTACLES.....	74
FIGURE 4. 20 : INFLUENCE DE POSITION DES OBSTACLE AU TEMPS D'ÉVACUATION.....	74
FIGURE 4. 21 : SCENARIO 1 (SCENE VIDE).	75
FIGURE 4. 22: SCENARIO 2.....	75
FIGURE 4. 23 : SCENARIO 3 (SCENE COMPLEXE).	76
FIGURE 4. 24 : SCENARIO 4 SCENE PLUS COMPLEXE.	76
FIGURE 4. 25 : LES DIFFERENT SCENARIOS SELON LA COMPLEXITE DE LA SCENE.	77

Liste des tableaux

TABLEAU 2. 1 : DEFINITION D’AUTOMATE CELLULAIRE.....	35
TABLEAU 2. 2: LES DIFFERENCES ENTRE LA SITUATION NORMALE ET LA SITUATION DE PANIQUE. [2]	39
TABLEAU 4. 1 : CODE DES METHODES.	66
TABLEAU 4. 2 : ÉTUDE DE TEMPS.	72
TABLEAU 4. 3 : ÉTUDE DE TEMPS D’EVACUATION PAR RAPPORT POSITION DES OBSTACLES.	74
TABLEAU 4. 4 :ÉTUDE DE TEMPS D’EVACUATION PAR RAPPORT LA COMPLEXITE DE LA SCENE. ...	77

Résumé

L'animation comportementale cherche à offrir des modèles et des outils permettant la création d'entités virtuelles autonomes. Ces entités perçoivent leurs environnements, agissent sur ce dernier et surtout prennent d'elles-mêmes des décisions en rapport avec la situation perçue dans le but d'exhiber un comportement cohérent proche de l'organisme vivant simulé.

Nous sommes intéressés à étudier l'influence des obstacles dans l'optimisation du temps de l'évacuation d'une foule d'humains virtuels, afin de bien organiser l'espace, de positionner les sorties et les obstacles, avant la conception finale d'un site.(bloc, maison, ...)

Nous avons modélisé notre environnements en utilisant la technique des automates cellulaires, et pour l'implémentation nous avons opté pour le simulateur AnyLogic qui est facile à utiliser et inclut un ensemble de fonctionnalités très utiles pour notre simulation, flexibilité d'ajout des agents, des obstacles dynamiques et le calcul de temps d'évacuation. Le principe de la boucle perception, décision et action est utilisé pour la planification de chemin, d'évitement d'obstacles et d'évitement de collisions dans le modèle microscopique de foule.

Nous avons appliqué notre modèle sur un ensemble de scènes en modifiant la forme, la position des obstacles et calculer le temps d'évacuation et analyser cette influence pour choisir la meilleure scène.

Mots clés : animation comportementale, automate cellulaire, trouver un chemin optimal, environnement virtuel, évitement de collisions, évitement des obstacles. Optimisation de temps d'évacuation.

Abstract

Behavioral animation seeks to provide models and tools for the creation of autonomous virtual entities. These entities perceive their environment, act on it and Above all, they take decisions by themselves in relation to the perceived situation in order to exhibit .

A coherent behavior close to the simulated living organism. We are interested in modeling virtual humans with their environment and then attacking .

The problem of the influence of obstacles in crowd evacuation, interesting time factor in the panic case. In order to optimize the time by well positioning and limiting the number of obstacles.

Our modeling realized by the technique of cellular automaton, for implementation we used the simulator AnyLogic which facilitates the planning of very developed platform, flexible to add agents, dynamic obstacles and calculation of time at the end. And for the behavioral animation we used the principle of loop perception. Decision .action to find an optimal path and avoid collision by choosing the microscopic model.

To demonstrate at the end that to optimize the time of evacuation of crowd panic case, it is necessary to minimize the number of obstacles the minimum that possible and thus will avoid human and material losses catastrophic to the future.

Keywords: behavioral animation, cellular automaton, optimal path finding, virtual environment , collision avoidance, obstacle avoidance. Evacuation time optimization.

ملخص

تسعى الرسوم المتحركة السلوكية إلى توفير نماذج وأدوات للإبداع كيانات افتراضية مستقلة. وتتنظر هذه الكيانات إلى بيئتها وتتصرف على أساسها.

باء - اتخاذ القرارات على وجه الخصوص من تلقاء نفسها فيما يتعلق بالحالة المتصورة من أجلسلوك متماسك قريب من الكائن الحي المحاكي.

نحن مهتمون بنمذجة البشر الافتراضيين مع بيئتهم ثم الهجوم مشكلة تأثير العقبات في إخلاء الحشود ، عامل وقت مثير للاهتمام في حالة الذعر. الوصول بالوقت إلى المستوى الأمثل عن طريق تحديد مواقع العقبات والحد منها. ونمذجنا الذي نفذناه بواسطة تقنية الأتمتة الخلوية ، من أجل التنفيذ ، استخدمنا جهاز المحاكاة AnyLogy الذي يسهل تخطيط منصة عالية التطور ، ومرنة لإضافة العوامل ، والعقبات الديناميكية ، وحساب الوقت في النهاية. وبالنسبة للرسوم المتحركة السلوكية استخدمنا مبدأ حلقة الإدراك. القرار العمل لإيجاد الطريق الأمثل وتجنب الاصطدام باختيار النموذج المجهرى.

وللتدليل في النهاية على أن الوقت الأمثل لإخلاء حالات الذعر من الحشود هو الوقت الأمثل ، يجب تقليل عدد العقبات إلى أدنى حد ممكن ، وبالتالي تجنب الخسائر البشرية والمادية المأساوية في المستقبل.

الكلمات الرئيسية: الرسوم المتحركة السلوكية ، والأتمتة الخلوية ، وإيجاد المسار الأمثل ، والبيئة الافتراضية ، وتجنب الاصطدام ، وتجنب العقبات. الاستفادة المثلى من وقت الإخلاء.

Introduction générale

Introduction générale

Au nom de Dieu le miséricordieux, qui faire l'être humain, le successeur sur la terre. Par raison et séance il puisse découvrir tous les secrets de l'univers.

Par le développement des séances, l'humain devient plus fort et civilisée parmi les séance qui a développé de façon géant dans un court temps : l'informatique, par cet outil, il rêve de faire une simulation parfaite de leur personnalité de côté concret et côté sentimentale, émotion, et leur différents comportements.

Le mouvement de foule inquiètent vraiment les savants, puisque il ne suit pas des équations mathématiques mais toujours il est surprit par des nouvelles réactions ne lui jamais pensée, ces mouvements de foule sont malheureusement le plus souvent issus de réactions imprévisibles. Néanmoins, si la réaction d'un individu pris seul est souvent imprévisible, le grand nombre diminue la part d'aléatoire, et ce sont souvent les mêmes schémas qui se répètent dans ce genre de situation.

Le sujet est très important et très vaste, nous avons décidé de se concentrer sur une problématique très claire qui est l'étude de l'influence des obstacles dans l'évacuation d'une foule d'humains virtuels.

On s'est intéressé sur l'optimisation de temps de l'évacuation d'une foule en cas de panique, on changeant à chaque fois le nombre, la forme et la position des obstacles.

Notre travail rentre dans le domaine de l'animation comportementale pour simuler le déplacement de piétons dans les environnements virtuels avant la conception et réalisation réelle des projets d'urbanisme, et ceci pour minimiser les pertes humaines en cas de catastrophe.

Le mémoire est organisé en deux parties principales. La première partie est un développement de l'état de l'art sur tous les aspects qui entrent dans le domaine de l'animation comportementale et la Simulation des d'humains virtuels. Cette partie s'articule sur deux chapitres en séquence Comme suit :

- Le premier chapitre présente les différentes notions de comportement.
- Le deuxième chapitre introduit l'animation comportementale avec l'observation du comportement des piétons ainsi que les différents comportements d'individu. Il présente aussi les propriétés des piétons virtuels, caractérisés par la perception, l'émotion, le comportement, l'action, et la mémoire. Puis nous avons

Introduction générale

présenté les approches de simulation de foule macroscopique et microscopique. Le chapitre est clôturé par la présentation des automates cellulaires.

La deuxième partie de ce mémoire traite la conception et la réalisation de notre application avec la présentation de nos résultats. Elle est constituée de deux chapitres :

- Le troisième chapitre présente la conception globale, ainsi que les techniques de la navigation et comment modéliser notre scène pour obtenir une animation réaliste des piétons virtuels basant sur la boucle (perception, décision, action).
- Le dernier chapitre présente notre environnement de développement avec les outils utilisés pour l'implémentation de notre application, à savoir la définition de simulateur AnyLogic. Le chapitre est terminé par la présentation de nos résultats.

Enfin, notre mémoire est clôturé par une conclusion générale et quelques perspectives.

Chapitre 1 : Simulation de comportement

Chapitre 1 : Simulation de comportement	9
1.1 Introduction.....	10
1.2 Notion de comportement.....	10
1.3 Modèle du comportement humain	11
1.4 Notion de Simulation de comportement	15
1.5 Modèles de transformation externe	16
1.5.1 Boids de C. Reynolds – 1987	16
1.5.2 Le comportement d'individu	18
1.5.2.1 Comportement de recherche et de fuite	18
1.5.2.2 Comportement de poursuite et évacion	19
1.5.2.3 Comportement d'arrivée	19
1.5.2.4 Comportement d'évitement d'obstacles	20
1.5.3 Le comportement de groupes	21
1.5.3.1 La séparation	22
1.5.3.2 La cohésion	22
1.5.3.3 L'alignement	23
1.5.3.4 Le suivi de chef	23
1.6 Conclusion	24

1.1 Introduction

La simulation comportementale est un moyen de faire interagir de manière naturelle des acteurs en simulant leurs capacités dans un environnement. Elle est introduite dans plusieurs domaines d'applications tels que : le graphisme, la robotique, les jeux vidéo et les films. La simulation comportementale a pour objectif la production de comportements pour les acteurs de l'animation, l'objectif majeur de la modélisation des comportements de ces acteurs est de construire des agents intelligents. Mais elle s'intéresse aux humains.

Ce premier chapitre a pour objectif de présenter des notions fondamentales qui concernent le comportement des humains virtuels. La notion de direction est très importante dans notre travail, c'est pour ça que nous conclurons ce chapitre en présentant une petite introduction sur les comportements de direction, puis nous détaillerons les célèbres comportements d'individus et de groupes présentés dans les travaux de [27].

1.2 Notion de comportement

Pour le psychologue, le comportement est un ensemble de phénomènes observables, qu'il faut distinguer des activités mentales (ex. raisonnement) ou encore des variables internes au sujet.

1.3 Modèle du comportement humain

L'organisme humain est en interaction constante avec son environnement par le biais de capteurs et d'effecteurs

- l'homéostasie : boucle de régulation interne de l'organisme correspondant au maintien des paramètres biologiques face aux variations du milieu ambiant ;
- le comportement d'acquisition : partie du comportement utilisée pour améliorer la perception .
- les interactions avec l'environnement : boucle de retour la plus importante.

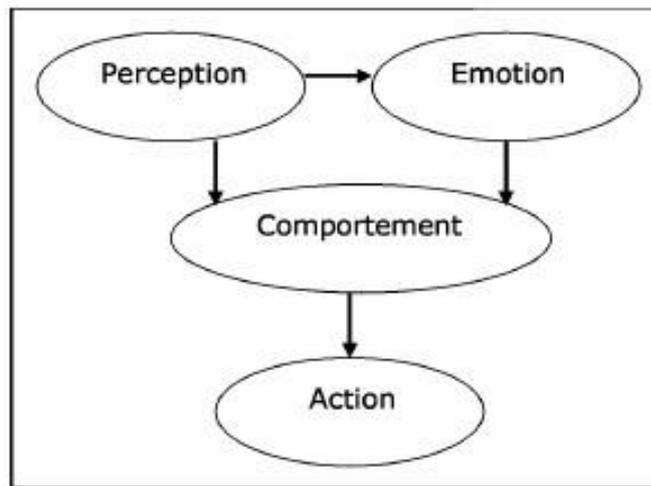


Figure 1. 1 : structure du modélé comportemental [1].

L'être humain est composé de capacités de perception, de traitement, d'action et de mémorisation.

- Les capacités de **perception appréhender** à travers ses cinq sens le monde extérieur, être à l'écoute de son propre corps en prenant en compte des sensations telles que la faim, la soif, ou encore la fatigue
- Les capacités de **décision**, fait appel aux données perçues mais aussi à ses connaissances et à ses facultés de raisonnement.
- La capacité d'**agir** sur lui-même et sur son environnement.

Les niveaux sont liés par transport d'information, Ils opèrent indépendamment les uns des autres, sans avoir de connaissances détaillées sur le fonctionnement interne des autres niveaux.

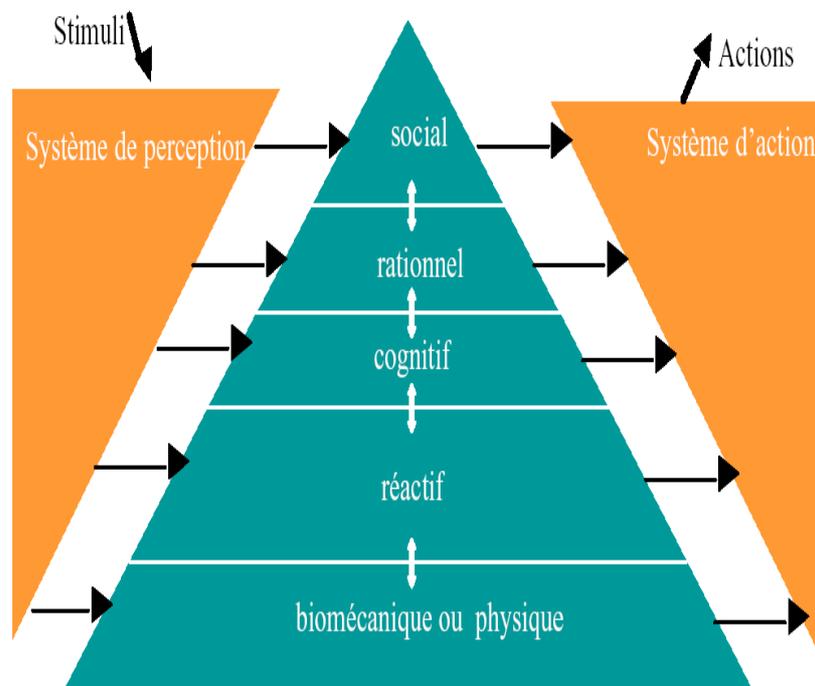


Figure 1. 2 : L'architecture cognitive humaine selon A. Newell [19].

1.3.1 Les processus décisionnels

Les processus décisionnels peuvent être classés en deux grandes catégories :

- Les processus *réactifs* représentent des comportements pré-cablés ne faisant pas directement intervenir de processus conscient.
- Les processus *cognitifs* font intervenir une représentation abstraite des connaissances et permettent de sélectionner une suite d'actions cohérentes visant à atteindre un but donné.

1.3.1.1 Modèles réactifs

Parmi leurs méthodes essentielles :

- **Stimulus / réponses :**

Cette approche définit le comportement à partir d'un ensemble de capteurs et d'effecteurs reliés entre eux par un réseau de nœuds intermédiaires transformant l'information passée.

La manière dont un objet se comporte dépend de la perception qu'il a de son environnement et de la manière dont cette perception est transmise à travers le réseau aux effecteurs.

- Il génère une quantité très importante de mouvements différents.
- Il est impossible de modifier le moindre paramètre sans avoir à reprendre le processus complet de configuration.
- Il est illusoire de vouloir contrôler un mouvement complexe avec cette approche.
- Les systèmes à base de règles

Le comportement est ici modélisé par : Un ensemble de règles associant une condition à une action. L'ensemble des actions dont les conditions sont satisfaites peuvent alors être mises en compétition ou encore fusionnées afin d'être réalisées. Les systèmes à base de règles diffèrent principalement par leur mode de représentation des conditions. Un ensemble de règles planes de type si alors. La concurrence entre règles doit être gérée :

- seule la première règle satisfaite est prise en compte,
- les règles sont dotées de priorités et la plus prioritaire est choisie,
- les résultats des règles sont fusionnés

Les règles peuvent aussi être organisées sous la forme d'un arbre de décision

- Algorithmes de parcours d'arbres de décision

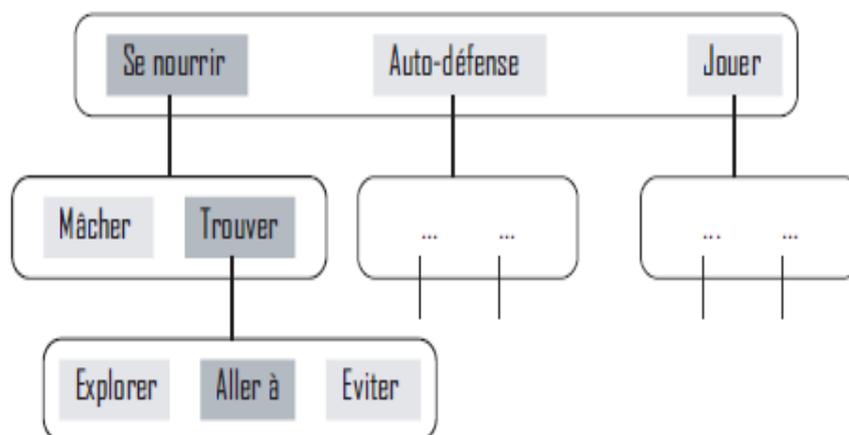


Figure 1. 3 : Arbre de décision extrait des travaux de Blumberg [3].

- Les comportements permis par cette approche sont d'un niveau d'abstraction plus élevé que l'approche précédente.
- La facilité d'interprétation et les possibilités d'extension du système (suppression/ modification/ ajout de nouvelles règles).
- Il est parfois difficile de correctement gérer la concurrence entre plusieurs règles.
- **Automates d'états finis**

Les approches à base d'automates permettent de décrire des comportements sous la forme d'un enchaînement conditionnel d'actions. Un état de l'automate correspond alors à une **tâche** et les **transitions** entre états traduisent les conditions d'enchaînement de ces mêmes tâches. Plusieurs typologies de systèmes

- Les piles d'automates.
- Automates parallèles.
- Les automates parallèles hiérarchiques

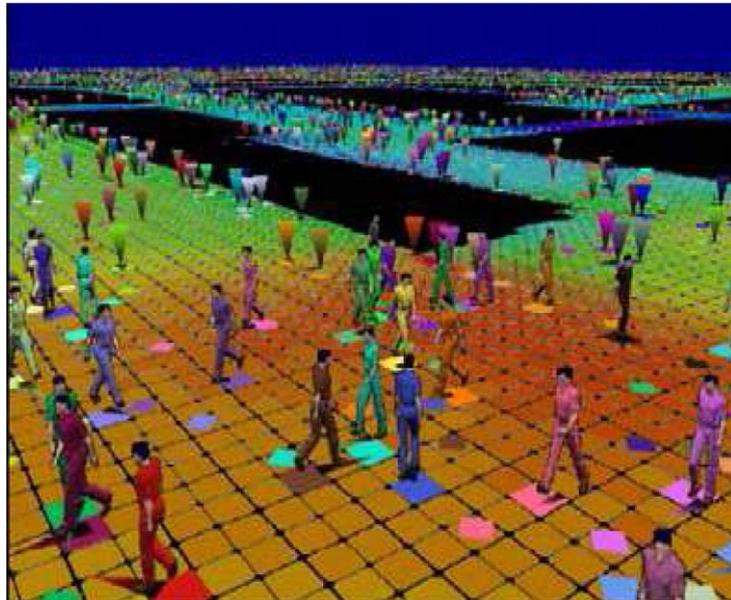


Figure 1. 4 : Décomposition de l'espace en grille régulière à 2dimensions [32].

- Les automates permettent facilement de modéliser des processus nécessitant la description d'un enchaînement conditionnel d'actions, enchaînement qui dépend à la fois de la dernière action exécutée (état de l'automate) et du contexte direct (conditionnelles associées aux transitions).
- Le parallélisme, renforce le pouvoir d'expression de ce type de système.

1.3.1.2 Modèles cognitifs

- Ces modèles nécessitent une représentation abstraite du monde afin de rechercher une suite d'actions permettant de satisfaire un but donné.
- La recherche des actions permettant de satisfaire un but utilise une forme de projection dans le futur permettant de raisonner sur les conséquences des actions.
- Le centre d'un agent d'un tel modèle est sa propre représentation du monde qui inclut une représentation de son propre état mental et de celui des acteurs avec qui il est en interaction.

1.4 Notion de Simulation de comportement

Telle que définie par [28], « la simulation (ou l'animation) comportementale est une partie de l'animation qui se rapproche des systèmes réels de par son principe de fonctionnement en assignant aux acteurs ou systèmes animés des comportements indépendants. Ces derniers ne seront alors plus régis par un système global gérant le mouvement de tous les acteurs mais par un mécanisme de décision local placé dans chaque individu. La simulation comportementale est donc un moyen de faire interagir de manière naturelle des acteurs en simulant leurs capacités dans un environnement ».

L'animation comportementale est donc une branche de l'animation ayant pour objectif la production de comportements pour les acteurs de l'animation. Pour bien comprendre cette nécessité il est impératif de cerner préalablement les enjeux actuels de l'animation.

L'animation par ordinateur est elle-même issue de l'informatique graphique, une discipline qui a pour but de produire des images grâce à des moyens informatiques. De la même manière que la photographie a donnée naissance au cinéma, l'animation est apparue dès que les moyens techniques se sont révélés suffisants. Aujourd'hui, elle occupe une place prépondérante dans la création de jeux vidéo, d'applications de réalité virtuelle (visites virtuelles de villes ou de lieux historiques, communautés virtuelles, simulations d'entraînement, ...etc.) [21].

1.5 Modèles de transformation externe

Les modèles dits “**de transformation externes**” définissent le comportement extérieur d'un être, c'est-à-dire ses **actions** et **réactions** vis-à-vis de son **environnement**, que ce soit de façon **individuelle** ou **collective (foule d'humains virtuels)**.

- On peut dire aussi le comportement de direction. On définit le mot **Boids** c'est le nom d'un programme informatique de vie artificielle, développé par *Cray Reynolds* en 1986, simulant le comportement d'une nuée d'oiseaux en vol.

1.5.1 Boids de C. Reynolds – 1987

Initiateur de l'animation comportementale.

- ❖ Reynolds a construit un modèle comportemental permettant d'animer un ensemble d'individus à l'aide de la description du comportement individuel de chaque animal appartenant au groupe.
- ❖ Reynolds a défini trois règles de comportement :
 - éviter les collisions,
 - harmoniser sa vitesse à celle de ses voisins,
 - rester proche de ses voisins.

La figure suivante présente un exemple de nuée d'oiseaux dont le comportement respecte les règles précédentes.



Figure 1. 5 : Boids de C. Reynolds [27].

La première version du projet de comportements de direction a été créé en tant qu'élément du cours sur la programmation orientée d'objet dispensé par le professeur Jürgen Sauer en 2001 à Université d'Oldenburg, Germany. En fait, le but du cours était de programmer un applet Java. Le projet 'de comportements de direction' a été basé sur un article à la manifestation de l'ACM Siggraph 2001 proposé par Robin Green à SIGGRAPH 2000 cours 39. La première version a présenté un système avec des combinaisons de comportements simples. Un langage de description a été défini pour pouvoir créer les scénarios définis pour l'utilisateur (comportement des différents acteurs).

Tous les comportements décrits dans l'article de Craig Reynolds seraient maintenant mis en application. L'intelligence de la simulation serait mise en valeur par un système de commande spéciale du comportement. Ceci laisserait ajuster l'intelligence selon la définition de la scène.

Les comportements de direction sont la prochaine étape logique dans le développement ultérieur du modèle des 'boids' créé par Craig Reynolds en 1987. Le modèle sur ordinateur des 'boids' est une voie pour la simulation des mouvements coordonnés de bandes d'oiseaux ou de poissons. 'Boids' identifie ici un exemple de créatures simulées. Le modèle est bâti sur trois comportements distincts : séparation, alignement et cohésion. Le

comportement de séparation a été employé pour empêcher des situations où les membres de l'essaim se serrent.

Alignant a été employé pour orienter tous les éléments de la bande dans une direction commune. Le troisième comportement de *cohésion* pour orienter un élément de l'essaim dans une position moyenne par rapport à ses voisins. Reynolds pouvait créer une simulation réaliste des comportements normaux de l'essaim par une combinaison habile de ces trois comportements simples[2].

Le projet "comportements de direction" représente une très bonne référence pour des personnes s'intéressant aux travaux de Craig Reynolds sur la simulation des essaims [4]. On va citer quelques exemples de travaux de Craig Reynolds :

1.5.2 Le comportement d'individu

1.5.2.1 Comportement de recherche et de fuite

La recherche et la fuite sont deux comportements très simples qui déplacent un véhicule vers ou loin d'une position de cible avec une vitesse constante. Dans le cas de la recherche, quand le véhicule atteint la cible il satellisera la cible comme une mite bourdonnant autour d'une ampoule (par opposition à une planète tournant autour d'une étoile) (figure 1.6).

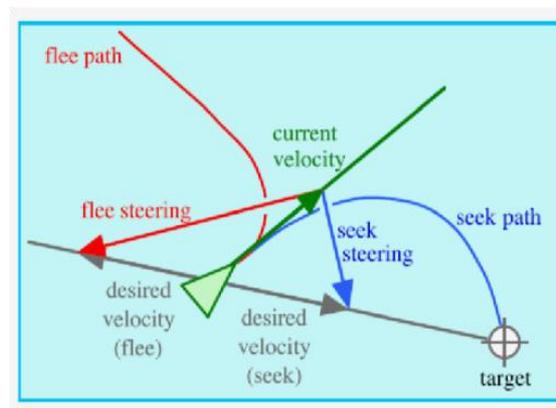


Figure 1. 6 : le comportement de recherche et de fuite [27].

La différence entre la recherche et la fuite est que la recherche est l'acte d'orienter le caractère vers une position indiquée dans l'espace global. Ce comportement ajuste le caractère de sorte que sa vitesse soit radicalement alignée vers la cible. Notez que cela est différent d'une force attrayante (telle que la pesanteur) qui produirait une voie d'accès orbitale

autour du point de cible. 'La vitesse désirée' est un vecteur dans la direction du caractère à la cible. La longueur de 'la vitesse désirée' pourrait être la vitesse maximale 'max_speed', ou la vitesse actuelle du caractère selon les particularités de l'application. Le vecteur de direction est la différence entre cette vitesse désirée et la vitesse actuelle du caractère.

1.5.2.2 Comportement de poursuite et évasion

La poursuite est semblable à la recherche sauf que la carrière (cible) est un autre caractère mobile. La poursuite adéquate exige une prévision de la future position de la cible, alors ce comportement présente les cibles prédictives : donner une cible mobile à l'interception, le caractère prévoit d'abord où la cible sera et s'oriente vers cette position. L'approche adoptée ici est d'utiliser un prédicateur simple et réévaluer chaque étape de simulation, la stratégie la plus simple à coder est de supposer que le véhicule cible se déplace avec une vitesse constante et ne tourne pas avant l'arrivée.

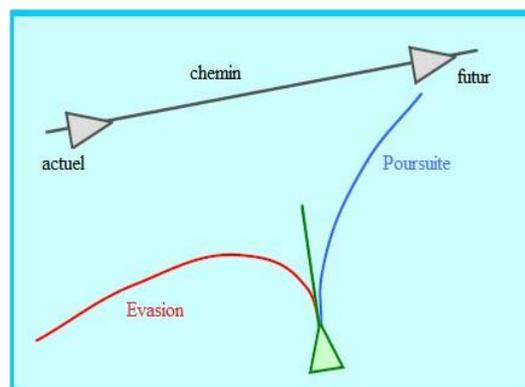


Figure 1. 7 : le comportement de poursuite et d'évasion [27].

1.5.2.3 Comportement d'arrivée

Le comportement d'arrivée est une extension du comportement de recherche. De même que pour le comportement de recherche, il est utilisé pour orienter le véhicule vers une cible indiquée. La différence importante se résume dans la manière selon laquelle le véhicule atteint la destination.

Le comportement de recherche fait que notre véhicule atteint la cible à pleine vitesse. Il se déplace en fait davantage dans la direction actuelle et va ainsi générer plutôt un mouvement de danse semblable au comportement d'une mite autour d'une source lumineuse. Cependant, le comportement d'arrivée doit être tel qu'il y ait un ralentissement commandé du

véhicule conformément au cahier des charges édicté par l'utilisateur, le mouvement doit s'arrêter à la position désirée (figure 1.8).

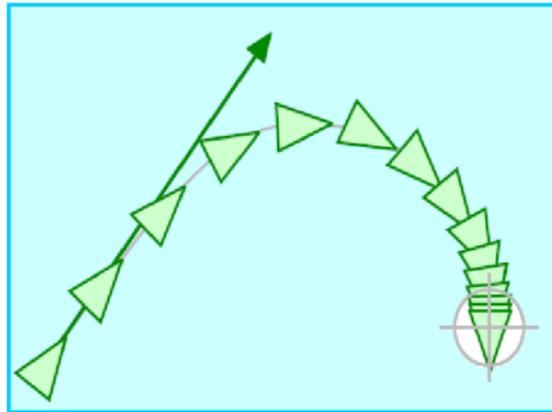


Figure 1. 8 : le comportement d'arrivé [27].

1.5.2.4 Comportement d'évitement d'obstacles

Le comportement d'évitement d'obstacles donne à un acteur la capacité de manoeuvrer dans un environnement encombré en esquivant autour des obstacles. Il y a une distinction importante entre l'évitement d'obstacles et le comportement de fuite.

La fuite a pour conséquence d'orienter l'acteur loin d'un emplacement donné, tandis que l'action d'évitement d'obstacles agit seulement quand un obstacle se trouve directement devant cet acteur. Par exemple, si une voiture se déplace sur une trajectoire parallèle à un mur, l'évitement d'obstacles ne prendrait aucune mesure corrective de direction, mais la fuite essaierait de s'éloigner du mur, en suivant la perpendiculaire à ce mur.

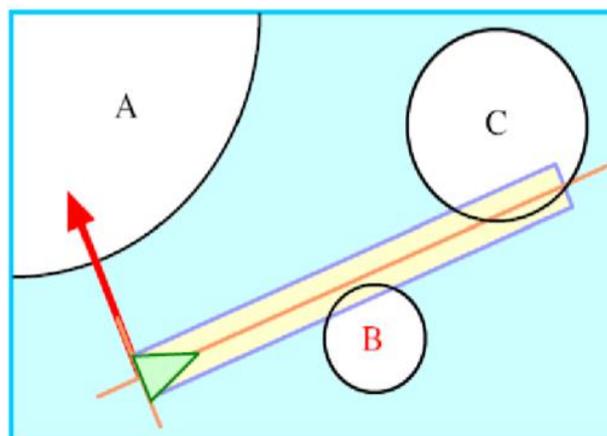


Figure 1. 9 : l'évitement d'obstacle [27].

Une note finale concernant l'interaction d'évitement d'obstacles et de recherche de but. D'une façon générale nous nous intéressons seulement aux obstacles qui sont localisés entre

l'acteur et le but à atteindre (La montagne au-delà de l'aéroport est ignorée par l'avion, mais la montagne entre l'avion et l'aéroport est très importante).

1.5.3 Le comportement de groupes

Dans son approche de simulation de comportements de groupes, Reynolds simule les nuées d'oiseaux, les troupes d'animaux et les bancs de poissons[26]. Un groupe est l'élaboration d'un système de particules avec acteurs (oiseaux ou poissons) en tant que particules. Un groupe est supposé le résultat de l'interaction entre les comportements individuels des acteurs.

De façon individuelle, les acteurs tentent de rester ensemble et d'éviter les collisions avec les autres acteurs d'une part et les objets aux alentours d'autre part. Les positions, les vitesses et les différentes orientations des acteurs sont connues dans le système à tout instant.

L'animateur peut contrôler plusieurs paramètres globaux tel que :

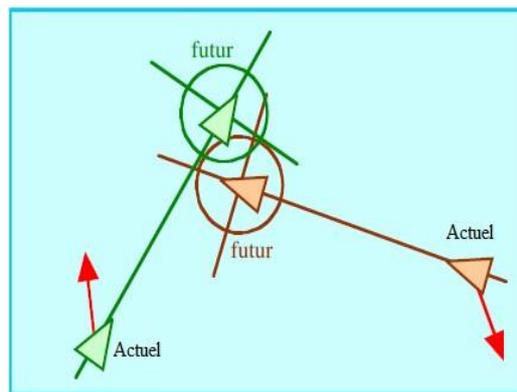


Figure 1. 10 : le comportement d'évitement de collision non-alignée [28].

- Le poids du composant d'évitement d'obstacles.
- Le poids de la convergence vers le but.
- Le point du centrage du groupe.
- Le poids de l'égalité des vitesses.
- La vitesse maximale.
- L'accélération maximale.
- La distance minimale entre les oiseaux.

Les trois comportements de direction (séparation, cohésion et l'alignement) touchent des groupes d'acteurs. Dans chaque cas, le comportement de direction détermine comment un

acteur réagit à d'autres dans son voisinage local. Les acteurs à l'extérieur du voisinage local sont ignorés.

1.5.3.1 La séparation

Le comportement de séparation donne à l'acteur la capacité de maintenir une certaine distance de séparation des autres caractères qui sont proches de lui. Cela peut être employé pour empêcher les acteurs de s'entasser ensemble. Les forces répulsives pour chaque acteur voisin sont additionnées ensemble pour produire la force de direction (figure 1.11).

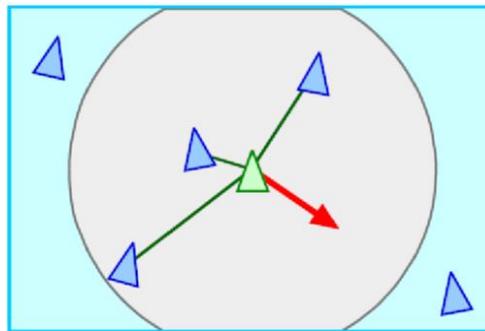


Figure 1. 11 : le comportement de séparation [27].

1.5.3.2 La cohésion

Le comportement de cohésion donne aux acteurs la capacité de générer une situation de cohérence dans le groupe qu'ils forment (se rapprocher et former un groupe) avec d'autres acteurs voisins (figure 1.12). La direction de la cohésion peut être calculée en déterminant tous les acteurs dans le voisinage local (comme décrit plus haut pour la séparation) et en calculant 'la position moyenne' (ou centre de gravité) des acteurs voisins. La direction de la force peut ainsi être appliquée dans la direction de 'la position moyenne'.

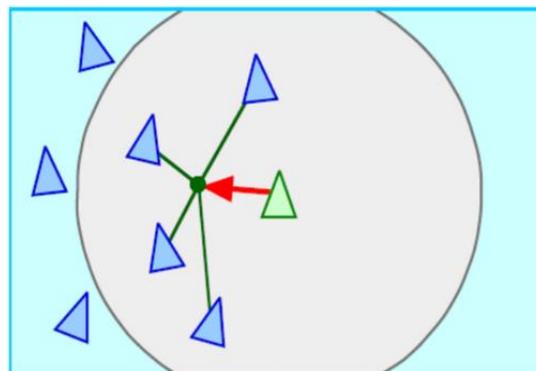


Figure 1. 12: le comportement de cohésion [27].

1.5.3.3 L'alignement

Le comportement d'alignement donne à l'acteur la capacité de s'aligner sur d'autres acteurs voisins (figure 1.13). La direction d'alignement peut être calculée en déterminant tous les acteurs dans le voisinage local (comme décrit précédemment pour la séparation), en faisant la moyenne des ensembles des vitesses des acteurs voisins. Cette moyenne est 'la vitesse désirable', ainsi le vecteur de direction est la différence entre la moyenne et la vitesse courante de notre acteur. Cette direction a tendance à faire tourner notre acteur, il est ainsi aligné sur ses voisins.

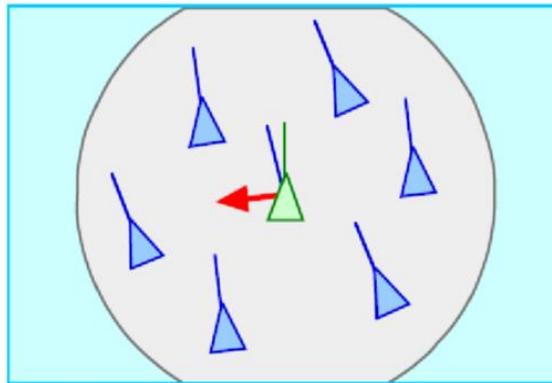


Figure 1. 13 : le comportement d'alignement [27].

1.5.3.4 Le suivi de chef

Le comportement de suivi de chef est provoqué par un ou plusieurs acteurs à l'effet de suivre un autre acteur en mouvement et considéré comme le chef. Généralement, ces acteurs tentent de rester près du chef, sans la cohue et faisant attention à rester loin de la voie du chef (dans le cas où ils arrivent à trouver des disciples devant le chef). De plus, s'il y a plus d'un disciple, ils doivent éviter de le heurter (figure 1.14).

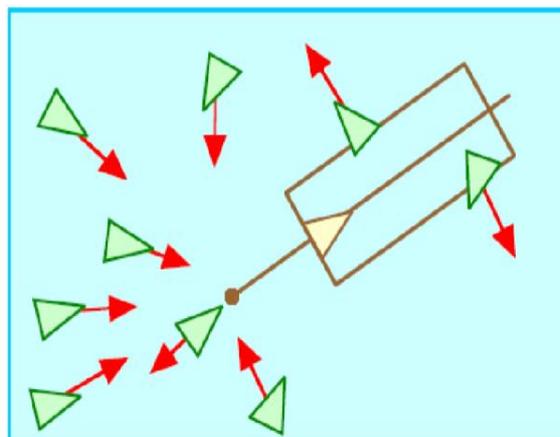


Figure 1. 14 : le comportement de suivi de chef [27].

1.6 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté les notions de base sur le comportement humain.

Nous avons expliqué précisément la structure du modèle de comportement et comment un agent virtuel autonome peut agir dans son univers, c'est à dire quel rôle il joue et quelles organisations il peut former ou intégrer. Nous avons aussi présenté une collection de comportements simples et communs de déplacement (La recherche, l'évasion, la poursuite, l'arrivée, l'évitement d'obstacles, l'évitement de collisions, la cohésion,...). Nous terminons en présentant quelques techniques pour la génération de mouvement plus complexes à partir de comportements simples ou élémentaires.

Chapitre 2 : Etude de l'évacuation de foule

<u>Chapitre 2 : Etude de l'évacuation de foule</u>	25
<u>2.1 Introduction</u>	25
<u>2.2 Le piéton virtuel et leur environnement externe</u>	26
<u>2.3 Notion de foule humaine</u>	27
<u>2.4 Les modèles microscopiques et macroscopiques</u>	32
<u>2.4.1 Modèles macroscopiques</u>	32
<u>2.4.2 Modèles microscopiques</u>	33
<u>2.5 L'évacuation de foule</u>	35
<u>2.6 Situation de foule cas panique possible</u>	38
<u>2.7 Conclusion</u>	39

2.1 Introduction

Dans le chapitre précédent on a défini des notions appartenant au domaine de l'animation comportementale. Quant à ce chapitre traite, les notions sur les piétons et l'interaction avec l'environnement virtuel où il est plongé. Plusieurs approches sur les foules ont été présentées dans la littérature, à savoir les approches macroscopiques, les approches microscopiques et mésoscopiques.

Ce chapitre est consacré aussi à l'étude de déplacement de personnes dans les deux situations, normale et en cas de panique

2.2 Le piéton virtuel et leur environnement externe

Un ensemble des piétons forme un Groupe : d'après une définition du dictionnaire 'le petit Robert' : « Le groupe est un ensemble d'individus ayant quelque chose en commun indépendamment de leur présence au même endroit ». Un groupe d'agents est un ensemble d'agents réunis ou ayant été réunis par le concepteur ou l'utilisateur pour effectuer des tâches communes. Ce groupe est capable de s'organiser en s'adaptant aux circonstances et aux situations rencontrées dans l'environnement, de manière à être plus performant qu'un groupe non organisé [14].

L'origine des informations sur les piétons est variée [36]:

- Certaines consistent en de simples observations sur certaines situations de la vie courante.
- Un autre mode d'observation des piétons consiste à réaliser des mesures (automatisées ou manuelles), en conditions réelles, par exemple sur passage protégé avec feux, ou dans une configuration plus particulière, dans un hall, sur un terrain de sport...etc , de caractéristiques physiques des piétons [8]. La trajectoire empruntée, la vitesse, l'accélération ou une analyse détaillée de la démarche ou de la foulée, ont fait l'objet de plusieurs travaux, souvent par des spécialistes en médecine sportive, parfois pour de l'animation d'humanoïdes de synthèse (cinéma, jeux vidéo...). Ces études sont effectuées « en direct », ou en différé sur un enregistrement vidéo des scènes [24]; [31]. Dans ce dernier cas, les informations sont plutôt de nature quantitative.

- Enfin, pour essayer de comprendre le comportement des piétons, des sondages et autres études orientées vers la psychologie et la sociologie, ayant pour objet l'analyse des relations entre piétons [31], sont menées pour comprendre le comportement des piétons et leur perception du risque. Les informations sont alors qualitatives.

On peut résumer les définitions des trois entités précédentes dans la figure 2.1.

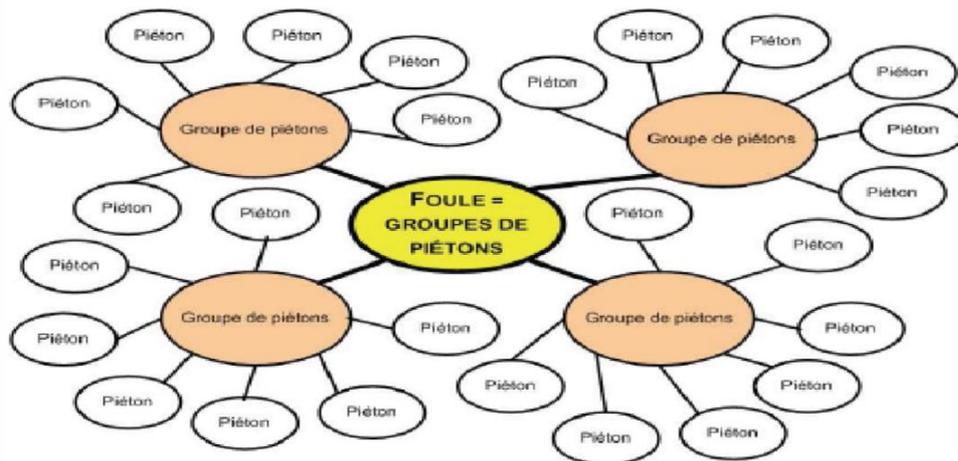


Figure 2. 1 : Les trois échelles d'observation des piétons [36].

2.3 Notion de foule humaine

Plusieurs définitions ont été attribuées au foule, on les présente par l'ordre chronologique.

Foule : en anglais, le terme 'crowd' peut être utilisé en tant que nom ou verbe.

Malheureusement, il n'y a pas de traduction française pour la forme verbale du mot. La meilleure traduction est 'attroupement' et ne reflète pas exactement la définition anglaise du mot. 'Crowd' et 'crowding' sont deux champs de recherche différents et indépendants. La foule peut être définie comme étant un rassemblement d'un grand nombre de personnes dans un même endroit. Mais, la forme verbale du mot anglais 'crowd' a une signification plus nébuleuse. 'Crowding' est définie comme étant trop de monde dans pas assez de place [23]. Ici dans notre travail une foule des piétons est composée de plusieurs groupes et chaque groupe est composé d'un seul ou un ensemble d'individus.

Le Bon [15] a décrit la foule comme "une entité dotée d'une âme autonome, l'état de conscience d'un individu se trouve modifié en présence d'une foule. Il adopte un comportement différent de celui qu'il a habituellement lorsqu'il est isolé, il est dans un état régressif, et il est alors capable de commettre des actes contraires à ses valeurs".

Les foules sont définies comme "un rassemblement d'une multitude d'individus et de petits groupes qui sont assemblés temporairement. Ces petits groupes sont généralement composés d'amis, membres de la famille ou connaissances". Les foules subissent un processus qui a un « début, au milieu, et la phase de fin »,

Actuellement, La foule partage avec le groupe l'idée de proximité géographique et de quantité de personnes, mais possède en plus les attributs suivants :

- **conscience collective** : les pensées et actions de chaque membre d'une foule sont toutes orientées vers le même but ;
- **rationalité** : le niveau global de rationalité d'une foule est généralement considéré inférieur à celui des agents qui la composent.



Figure 2. 2 : Foule lors de Das Fest à Karlsruhe.

(1) <https://fr.wikipedia.org/wiki/Foule>

Et aussi la foule a été classée en trois types [9] principaux qui sont :

- **Foules homogènes**

Dans une foule homogène, les agents partagent la plupart de leurs caractéristiques, en particulier leurs buts et leurs comportements potentiels, le regroupement est en général implicite, imposé par une communauté d'objectifs et les placements initiaux des agents. En général, dans les foules de ce type, les comportements des agents en général très simples sont souvent limités.



Figure 2. 3 : Foules homogènes[9].

- **Collection d'agents**

Dans ce que nous appelons une collection, chaque agent a son propre comportement et ses propres buts. Le scénario est faible ; il n'y a pas d'attente particulière sur le comportement collectif de la foule. En d'autres termes, l'animation comportementale de collections d'agents revient quasiment à animer les agents individuellement (Figure 2.4) (Voir par exemple, les agents autonomes qui évoluent dans une gare). Dès lors qu'une collection d'agents ne possède pas de propriétés communes, nous considérons que ces situations ne relèvent pas vraiment de la problématique de l'animation comportementale de foules bien que des collections puissent ressembler à des foules et participer à les constituer.



Figure 2. 4: Collection d'agents [9].

- **Groupe**

Les groupes sont des ensembles d'agents explicitement circonscrits (au contraire des foules homogènes) qui partagent de l'information et/ou communiquent. Ses membres doivent coopérer pour donner au groupe le comportement requis (pour respecter le scénario) (Figure2.4) [10].

Quelques aspects fondamentaux caractérisant un groupe, qui sont :

☞ La notion de cohésion d'un groupe, soit la « force » qui pousse les membres à demeurer ensemble.

☞ La notion de cohésion d'un groupe, soit la « force » qui pousse les membres à demeurer ensemble.



Figure 2. 5 : Groupe[9].

La présence de nombreux secteurs regroupant de nombreuses personnes se déplaçant simultanément pose de nombreux problèmes, tels que le problème du remplissage des mondes virtuels, des problèmes de sécurité, ..., et avec le développement scientifique et technologique, il est nécessaire de penser à la simulation du comportement des foules, pour éviter ces problèmes. Il existe de nombreuses applications pour cette simulation, notamment :

- **Grands événements**

Les grands événements comme les concerts, les concerts de rock et le football, les rassemblements des piétons pendant les saisons d'Omar et du Hajj, (Figure 2-6) attirent souvent un grand nombre de personnes. Pour gérer les foules en toute sécurité, il est nécessaire d'avoir une connaissance approfondie des lois du mouvement de masse. La recherche scientifique aide à acquérir les connaissances nécessaires pour orienter les flux et augmenter la capacité en réduisant les problèmes d'acheminement ou en empêchant les personnes (création de zones d'attente) d'éviter les pics de flux dans les zones critiques.

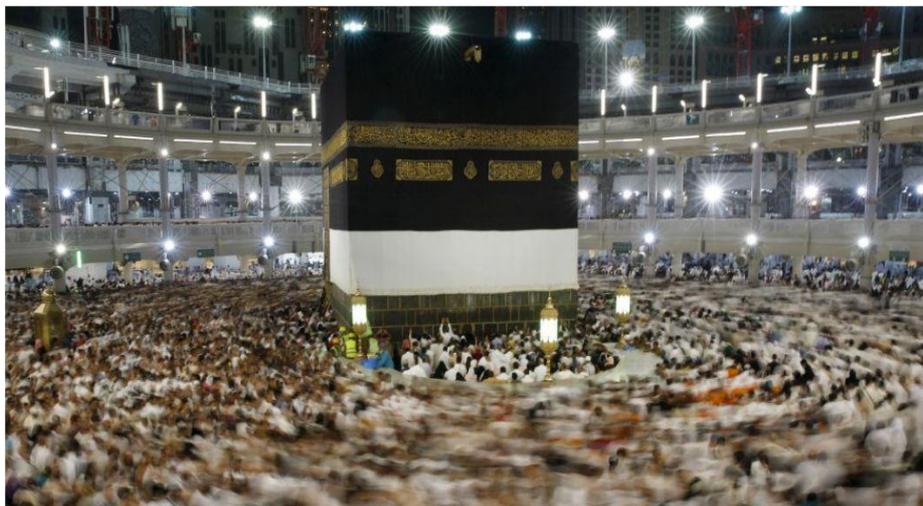


Figure 2. 6:Le grand événement de Hajj [9].

- **Militaire**

La modélisation et la simulation des foules dans le domaine militaire est désormais une nécessité, de sorte que les simulations de foule sont largement utilisées pour l'entraînement militaire tactique en temps réel, comme la simulation de comportements de masse de personnes civils et combats dans des scénarios de maintien de la paix, des recherches qui aident à l'entraînement militaire et également pour élaborer des plans et pour gérer la communication entre les soldats[9].



Figure 2. 7 : Formation de plusieurs soldats [9].

- **Architecture et aménagement urbain**

Le développement de logiciels de simulation de foule est devenu un outil moderne et utile dans la conception d'environnements urbains. Ces outils permettent d'offrir aux concepteurs un moyen efficace de tester la sécurité des bâtiments avant la construction afin d'économiser de l'argent et d'éviter les pertes humaines.

Un grand nombre de modèles ont été développés avec l'incorporation de facteurs psychologiques et physiologiques humains comme Micro-Pedsim, Legion, mais peu d'eux traitent la prise de décision et la planification.



Figure 2. 8: Interactions de personnes au sein d'une architecture[9].

La simulation de foule permet d'étudier le mouvement d'un grand nombre d'entités dans un environnement virtuel. Cet axe de recherche a suscité de vastes domaines tout au long de ces dernières années. L'idée globale derrière la simulation de foule est de permettre à des entités virtuelles de se comporter d'une manière normale, agissant les unes sur les autres, et ce en exploitant surtout des règles de comportement social. En effet, les applications de la simulation de foule sont nombreuses, elles peuvent être résumées dans la figure 2.9.

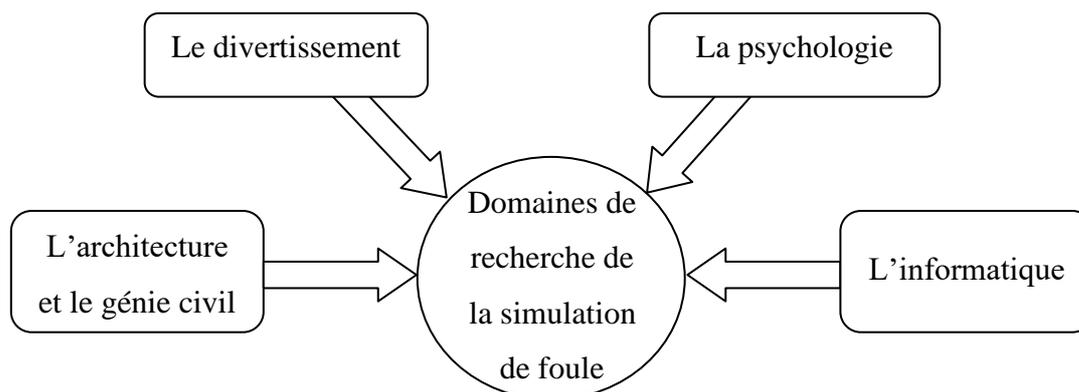


Figure 2. 9: Domaines de recherche de la simulation de foule [30].

2.4 Les modèles microscopiques et macroscopiques

Teknomo opère une séparation entre les études sur les piétons de type ‘macroscopique’ et celles qui s’orientent vers une approche ‘microscopique’[33]Selon ces termes :

- l’approche macroscopique consiste à agréger les mouvements des piétons et à s’intéresser à des flux de déplacement, à une foule de piétons. Ces mouvements peuvent être décrits par des équations analogues à celles de la mécanique des fluides [11]au niveau microscopique, chaque piéton est considéré comme un individu et traité comme une entité à part entière.

Certains chercheurs introduisent même un niveau intermédiaire qualifié de ‘mésoscopique’.

L’approche mésoscopique consiste à ne pas traiter tous les piétons comme faisant partie d’un seul flux, mais à agréger les piétons en groupes homogènes puis à les traiter [36].

2.4.1 Modèles macroscopiques

La simulation macroscopique a été historiquement la première approche utilisée pour modéliser les mouvements de personnes, elle est caractérisée par son faible coût de calcul. [7]. La concentration principale de cette approche est le traitement de foule dans sa totalité, elle ne considère pas l’interaction entre les personnes, et elle n’est pas convenable pour la prédiction de performance de flux des piétons dans une région ou un immeuble avec des garnitures (téléphone, chaise, table ...etc), par contre l’approche microscopique traite chaque humain de façon isolé et mesure son comportement d’interaction avec des autres personnes.

2.4.1.1 Modèles de régression

Les modèles de régression utilisent statistiquement les relations établies entre les variables de flux pour prévoir les opérations de flux de piétons dans des circonstances particulières. Les caractéristiques de ce flux dépendent de l'infrastructure (escaliers, couloirs, ...etc) [18].

2.4.1.2 Modèles de cinétique de gaz

Les modèles de cinétiques de gaz utilisent une analogie avec la dynamique de fluide ou de gaz pour décrire comment la densité et la vitesse de foule changent avec le temps en utilisant des équations aux dérivées partielles [13].

2.4.2 Modèles microscopiques

Les méthodes microscopiques ne peuvent pas remplacer les méthodes macroscopiques, mais elles sont considérées comme une analyse plus détaillée pour la conception et l'interaction de piéton considérant que des caractéristiques individuelles et des facteurs psychologiques et sociologiques.

2.4.2.1 Modèle de force sociale

Le modèle de force sociale est une approche microscopique pour simuler le mouvement des piétons. Donner des forces sociales 'virtuelles' analogue aux forces réelles telles que les interactions répulsives, les forces de frottement, fluctuations. Il résout les équations de

Newton de mouvement pour chaque individu. Ce modèle peut être avec succès appliqué pour simuler des scénarios réels de mouvement des piétons.

Par rapport à d'autres modèles, les modèles de force sociale décrivent le comportement des piétons de façon plus réaliste. Cependant, ils sont conçus pour être aussi simples autant possible, chaque agent est représenté dans le plan locomotion par un cercle avec son propre diamètre, le modèle décrit des coordonnées continues, des vitesses, et les interactions avec d'autres objets. Chaque paramètre de force a une interprétation naturelle individuelle pour chaque piéton, il est souvent choisi aléatoirement dans certains intervalles trouvés empiriquement ou dans des intervalles plausibles.

Le modèle empirique le plus important des modèles de force social est le modèle Helbing [22].

2.4.2.2 Modèle d'automates cellulaires

Les automates cellulaires sont des systèmes dynamiques discrets dont le comportement est complètement spécifié quant à une relation locale, il est caractérisé par les traits suivants [6]:

- La cellule : est l'élément de base, chaque cellule peut être dans un ensemble fini d'états possibles. Par exemple, les états pourraient représenter des attitudes, des caractéristiques individuelles, ou des actions. Un état pourrait aussi être vu comme une propriété ou une variable interne.
- La grille : les cellules sont arrangées dans une grille régulière. La grille est habituellement en forme d'une ligne de cellules en 1-dimension, un tableau rectangulaire en 2-dimension, ou un réseau en 3-dimensions (cube).
- L'état : l'état d'une cellule à n'importe quel pas de temps est déterminé par un ensemble de règles conformément au principe d'homogénéité. L'homogénéité veut dire que chaque cellule est mise à jour en accordant aux mêmes règles. L'ensemble de règles spécifie comment l'état dépend de l'état antérieur de cette cellule et les états de cellules voisines.
- Le temps : l'évolution du temps à travers la simulation est gouvernée par les pas discrets et par les règles de la mise à jour selon les principes de parallélisme et de localité. Le parallélisme signifie que les mises à jour individuelles de la cellule sont exécutées indépendamment l'une de l'autre. La localité veut dire que lorsque une cellule est mise à jour, son état à $t+1$ est une fonction de son propre état et des états de ses voisinages à l'instant t .

L'automate cellulaire est définie par les quatre propriétés (L,S,N,f) mentionnées dans le tableau (2.1).

Définition	Description
L	une grille discrète régulière de cellules
$t \rightarrow t+1$	l'évolution prend en compte les pas du temps discret
S	ensemble fini d'états
$f: S^n \rightarrow S$	Chaque cellule évolue selon la même règle (fonction de transition) qui dépend uniquement de l'état de la cellule, et de nombre fini de cellules voisines
$N: \forall c \in N, \forall r \in L: r + c \in L$	La relation de voisinage est locale et uniforme

Tableau 2. 1 : définition d'automate cellulaire.

Une configuration $C_t: L \rightarrow S$ est une fonction qui associe un état à chaque cellule de la grille.

La fonction de la mise à jour f change une configuration C_t à une nouvelle configuration C_{t+1} :

$$C_{t+1}(r) = f(\{C_t(i) \mid i \in N(r)\})$$

Où $N(r)$ est l'ensemble de voisins de la cellule r , $N(r) = \{i \in L \mid r - i \in N\}$ [22].

2.5 L'évacuation de foule

En moyenne, la trajectoire d'un piéton qui traverse la route sur un passage piéton sera plutôt perpendiculaire à la route, alors qu'un piéton qui traverse hors d'un passage piéton aura tendance à arrondir les angles et à prendre la diagonale. Les différentes phases d'une traversée de route sont typiquement :

- « démarrage » en descendant du trottoir ou au début d'une nouvelle voie, avec augmentation de la vitesse jusqu'à atteinte de la vitesse voulue.
- maintien de la vitesse de croisière.

- éventuellement, avant de traverser une nouvelle voie véhicule : accélération, ralentissement, ou changement de direction doux.
- « fin de traversée » : léger ralentissement, changement de direction.



Figure 2. 10 : déplacement à pied dans une route.

Un piéton se déplace en adoptant une des trois allures suivantes : marche, course lente (jogging en anglais) ou course rapide (running en anglais).

Avant même de pouvoir se déplacer dans son environnement, l'être humain a besoin de se le représenter. Cette représentation mentale va en effet lui servir à raisonner sur cet environnement, que ce soit pour évaluer un chemin afin d'atteindre une localisation précise, ou encore pour organiser les tâches qu'il doit effectuer (comme les interactions avec des objets). C'est à la représentation mentale permettant le premier type de raisonnement – la navigation – que nous allons nous attacher ici.

Cette représentation mentale, dite topologique, permet à un être humain de se repérer dans l'environnement. Elle passe par une phase d'abstraction, c'est-à-dire une interprétation personnelle de la géométrie des lieux. Une telle abstraction, dénommée carte cognitive spatiale, est basée sur deux concepts. Premièrement, l'élaboration d'une carte sous-entend une construction mentale durable, faisant intervenir des processus mémoriels permettant une conservation de l'information au cours du temps.

L'abstraction mentale d'un environnement peut être vue comme un système de filtrage, où l'être humain ne va pas stocker l'ensemble de la géographie perçue, mais plutôt en extraire des lieux marquants.

Les études qui ont été conduites sur le problème du comportement piétonnier sont nombreuses. Par exemple, dans le domaine de l'étude des flots, des statistiques sont effectuées en vue d'analyser le comportement piétonnier pour assurer à plus long terme une certaine qualité de navigation. Au cours de ces études, un certain nombre de caractéristiques de ce comportement ont pu être mises en évidence [12]:

- Les piétons montrent une certaine aversion à prendre des détours ou à marcher dans une direction opposée à leur direction désirée (celle les menant vers leur but), même dans des environnements peuplés. Cependant, ils ont tendance à choisir la route la plus rapide qui n'est pas forcément la plus courte. En général, les notions de détour et de confort de navigation sont prises en compte en vue de minimiser l'effort à fournir.
- Chaque piéton possède sa vitesse individuelle correspondant à la vitesse la plus confortable, autrement dit celle qui permet de minimiser la dépense d'énergie. Du point de vue de la personne, cette vitesse est corrélée à plusieurs facteurs comme le sexe et l'âge par exemple. Le respect de cette vitesse dépend aussi de facteurs externes tels que la raison du déplacement (la personne est-elle pressée ou non ?) ou encore de la densité de la foule.
- Les piétons tentent de conserver une certaine distance avec les autres piétons et les obstacles de l'environnement. Cette distance varie en fonction du contexte, elle se réduit si le piéton est pressé ou si la foule devient dense. Dans le cas de piétons stationnaires (attente d'un train, attente d'un bus...), la tendance est de se répartir uniformément dans l'espace. Cependant, autour des endroits attractifs (statue, monument...), la densité des piétons augmente. Les individus se connaissant peuvent former des groupes, ces groupes ont alors tendance à exhiber un comportement similaire à celui d'un piéton seul.
- Lorsque la densité des piétons devient grande, la tendance générale ressemble à l'évolution d'un fluide. Au milieu de foules statiques, on peut remarquer une tendance à créer des flots ; en environnement dense, on peut remarquer la formation de zones de navigation regroupant des piétons allant dans la même direction.

- Dans les situations de paniques, les individus ont tendance à développer des comportements 'aveugles' et essayent de se déplacer beaucoup plus vite que de normale. Les interactions entre les piétons deviennent alors physiques, allant jusqu'à la bousculade. Les personnes blessées ou tombées constituent alors des obstacles gênant la progression. Finalement, un comportement mimétique est en œuvre ; les piétons ont tendance à faire comme les autres, à aller où vont les autres, au détriment de l'exploitation d'opportunités de sorties différentes.

2.6 Situation de foule cas panique possible

La figure 2.11 montre que la simulation de foule est séparée en deux groupes principaux. Les détails de ces deux situations peuvent être résumés dans le tableau 2.2 [30].

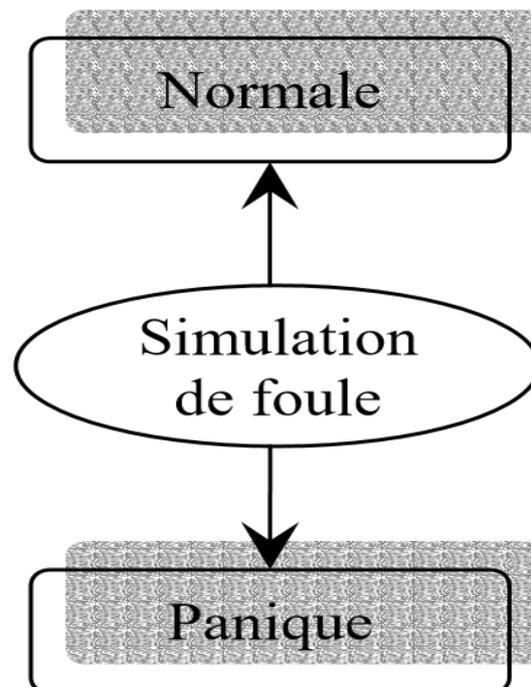


Figure 2. 11 : Situation de la foule [30].

Situation normale	Situation de panique
Ressemble à un modèle de simulation à base de flux.	Peut-être visée à des situations stressantes.
Lenteur de déplacement dans des directions différentes de flux principal dans les rues.	Peut commencer comme une situation normale et peut sortir de la commande plus tard.
Les agents sentent une aversion forte à prendre des détours ou à se déplacer vis-à-vis de la direction de marche désirée, même si la manière directe est serrée.	Un désastre important de la foule se produit en raison de sa taille croissante.
L'itinéraire le plus rapide et le moins encombré est la décision la plus aimée.	Généralement provoquées par des humains même temps avec les catastrophes naturelles comme les feux et les tremblements de terre.
La plupart des personnes tiennent compte des détours aussi bien que du confort de la marche, réduisant au minimum de ce fait l'effort permettant d'atteindre leur destination.	La panique signifie une hystérie collective qui résulte un grand nombre de victimes, particulièrement si elle se produit dans une foule dense de personnes.
La zone confortable est une partie principale par laquelle les agents évitent la collision avec les autres, ils ne peuvent pas obtenir le moindre contact physique avec des inconnus.	Ne peut pas être comparée à une simulation d'écoulement de fluide, parce qu'il n'y a aucune répartition équitable et forcément les étapes suivantes étant prévues.
La possibilité de garder une certaine distance vis à vis d'autres agents et obstacles, mais cette distance sera plus petite lorsqu'un agent est pressé, et elle diminue avec l'accroissement de la densité de la foule.	Les gens tendent à montrer un mélange de comportement de troupeau et de comportement individuel.
Le comportement général de la foule et le comportement individuel sont visualisables.	Les concepts de groupes sont perdus, ainsi, chaque individu peut agir différemment du reste du groupe.

Tableau 2. 2: Les différences entre la situation normale et la situation de panique. [2]

2.7 Conclusion

La simulation et la modélisation de comportement de foules présentent une thématique de recherche assez active depuis plusieurs années. En effet, elle est liée à de nombreuses disciplines, telles que la sécurité, l'architecture, le transport, les sciences sociales et les jeux d'ordinateurs...

Dans ce chapitre, études de l'évacuation de foule on a essayé de rassembler les plus importantes informations possibles concernant cette discipline, on concentrant principalement sur le cas de panique puisque il touche deux domaines sensibles qui sont : la sécurité et la santé.

Chapitre 3 : La conception de l'évacuation de la foule.

<u>Chapitre 3 : La conception de l'évacuation de la foule.</u>	40
<u>3.1 Introduction</u>	41
<u>3.2 L'objectif de notre système</u>	41
<u>3.3 Analyse des besoins</u>	42
<u>3.3.1 L'automate cellulaire</u>	42
<u>3.4 L'architecture logicielle dédiée à la simulation</u>	44
<u>3.4.1 Conception globale de notre système</u>	44
<u>3.4.2 Conception détaillée</u>	45
<u>3.4.2.1 Structure de notre système :</u>	45
<u>3.5 Modélisations UML</u>	53
<u>3.5.1 Diagramme de classe</u>	53
<u>3.5.2 Diagramme d'état de transition</u>	55
<u>3.6 Conclusion</u>	55

3.1 Introduction

La simulation des circulations des personnes est une problématique qui nécessitant d'appréhender le comportement humain. Ceci est d'autant plus vrai dans notre domaine d'application, qui est la caractérisation de comportement des personnes n'est pas seulement un déplacement dans un environnement mais inclut aussi des interactions entre eux et avec l'environnement.

Nous avons représenté humain virtuel et leur environnement par des formes géométriques simples, et l'animation est une translation entre les points (ou les cellules), et utiliser l'animation comportementale pour animer les humains virtuels, nous assurons l'évitement de collisions entre les individus et les obstacles de l'environnement.

On a commencé par la plus essentielle étape dans le cycle de vie d'un logiciel qui est la conception, définir le modèle et la méthode souhaitée pour atteindre notre but, pour puisse appliquer dans l'implémentation finalement dans le dernier chapitre de validation des résultat.

3.2 L'objectif de notre système

Nous voulons décrire l'architecture logicielle pour effectuer la simulation de l'influence des obstacles dans l'évacuation de la foule. D'après notre objectif on remarque qu'il y a plusieurs points à développer :

- La modélisation des obstacles.
- L'évacuation de foule

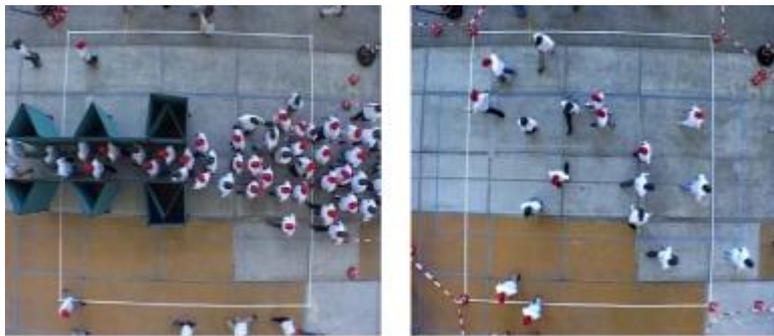


Figure 3. 1: Goulot d'étranglement [5].

Pour cela, on doit modéliser un environnement virtuel 3D avec un ensemble de sorties vers l'extérieur, positionner les obstacles devant les sorties en modifiant les positions de ces obstacles afin de voir quelle est la position adéquate pour l'évacuation de la foule.

Chapitre 3 : La conception de l'évacuation de la foule

Notre étude sera consacrée à une comparaison de temps d'évacuation dans plusieurs environnements.

- Un environnement sans obstacle
- Un environnement avec un seul obstacle
- Un environnement avec plusieurs obstacles

Le facteur de temps est très important en pratique, dans les situations de panique. Pour les chercheurs ont étudié ce phénomène depuis plusieurs années, dans le but de bien concevoir les environnements réels, en bien positionnant les sorties.

La fréquence et l'ampleur des catastrophes naturelles se sont considérablement accrues actuellement, causant d'énormes dégâts humains et matériels. Pour éviter tous ces problèmes au future, on doit bien concevoir notre habitation, espace de travail et de loisir.

3.3 Analyse des besoins

Pour atteindre notre objectif, on a choisi le modèle microscopique où chaque individu est traité individuellement. On a opté pour la simulation à base d'automates cellulaires, qui a été présentée dans le chapitre précédent.

3.3.1 1 L'automate cellulaire

Les techniques de simulation à base d'automates cellulaires sont utilisées afin de modéliser la dynamique de déplacement des piétons. Dans l'espace des automates cellulaires, le temps et l'état des variables sont discrets. Ceci permet d'avoir des simulations performantes. Cependant, la modélisation avec les automates cellulaires diffère de plusieurs aspects des modèles continus, qui sont basés habituellement sur des équations différentielles. ... [17].

Les automates cellulaires présentent un intérêt important en tant qu'outil de modélisation et de simulation, car ils sont extrêmement efficaces en temps

Chapitre 3 : La conception de l'évacuation de la foule

d'exécution. Ils sont capables de reproduire un grand nombre de phénomènes complexes de la nature. Ceci ne peut être qu'une conséquence directe des caractéristiques des automates cellulaires, tels que, l'espace discret, le nombre fini et identique des états de chaque cellule, le temps discret d'évolution, et les règles simples de fonctionnement. Les automates cellulaires ont offert un cadre conceptuel novateur permettant de reproduire la dynamique de l'écoulement du trafic autoroutier et urbain.



Figure 3. 2 : Décomposition de l'espace en grille régulière à 2 dimensions.

Une grille où un système cellulaire peut être représenté par une seule rangée unidimensionnelle) de cellules, par une grille à deux dimensions de cellules (une couche cellulaire), ou par des rangés de cellules à trois dimensions (une masse cellulaire). Les caractéristiques structurelles concernent également la définition des cellules voisines, qui interagissent avec la cellule en question. Alors que les caractéristiques fonctionnelles définissent le fonctionnement des automates cellulaires. Ces caractéristiques dépendent

Chapitre 3 : La conception de l'évacuation de la foule

du nombre d'états discrets qu'une cellule peut prendre et des règles de transitions entre ces états. Ces règles peuvent être déterministes ou stochastiques. Dans le cas déterministe, l'état d'une cellule à l'instant $(t + 1)$ dépend directement de sa configuration et de celle de son voisinage à l'instant t .

Le modèle du choix discret définit trois paramètres essentiels pour le déplacement des piétons qui sont : la région d'intérêt, l'angle de vision et la direction de marche actuelle du piéton comme le montre la figure suivante :

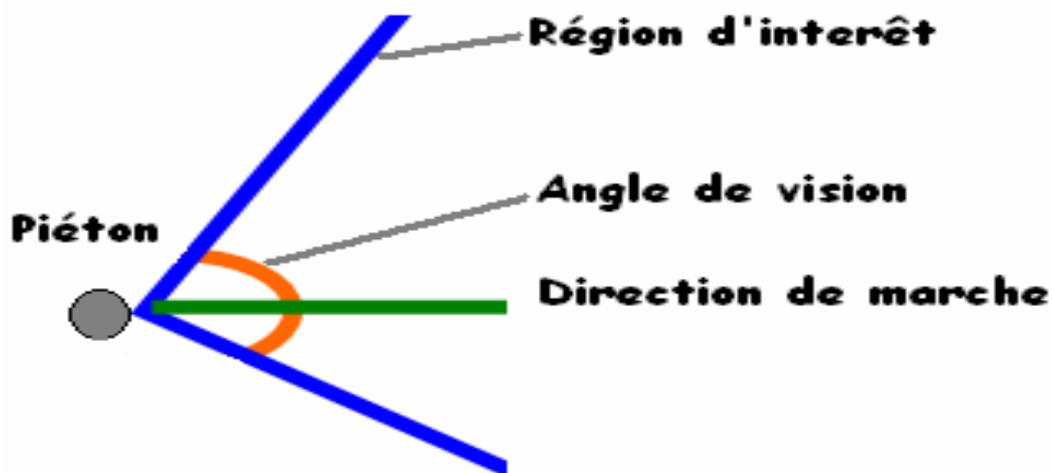


Figure 3. 3: Représentation de l'espace du modèle du choix discret.

3.4 L'architecture logicielle dédiée à la simulation

3.4.1 Conception globale de notre système

Notre système est vu comme une boîte noire qui possède des entrées et qui fournit des sorties. Il prend les informations d'extérieures et fait des opérations à l'intérieur pour donner des décisions à partir ces informations extérieurs[16], Le schéma suivant présente

Porte de sortie

piéton(position, vitesse,direction)

Obstacle dynamique(position L)

l'architecture globale de notre système :

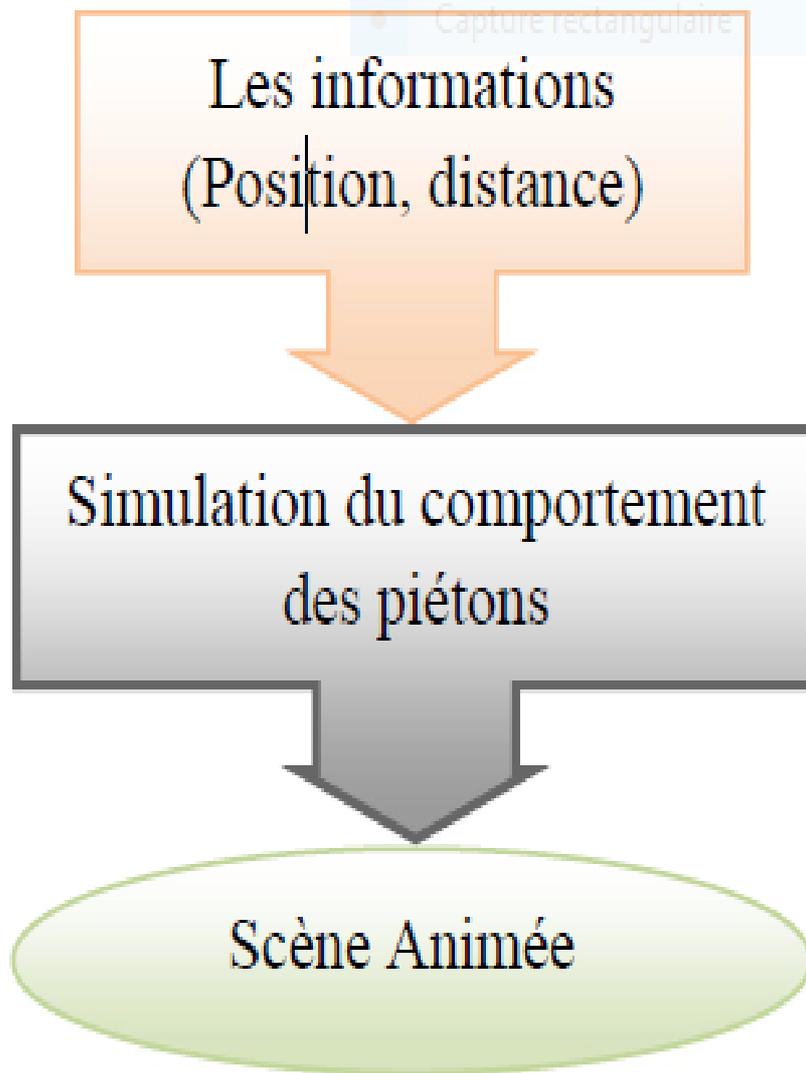


Figure 3. 4: Conception globale.

3.4.2 Conception détaillée

3.4.2.1 Structure de notre système :

Le schéma de fonctionnement de notre système :

Chapitre 3 : La conception de l'évacuation de la foule

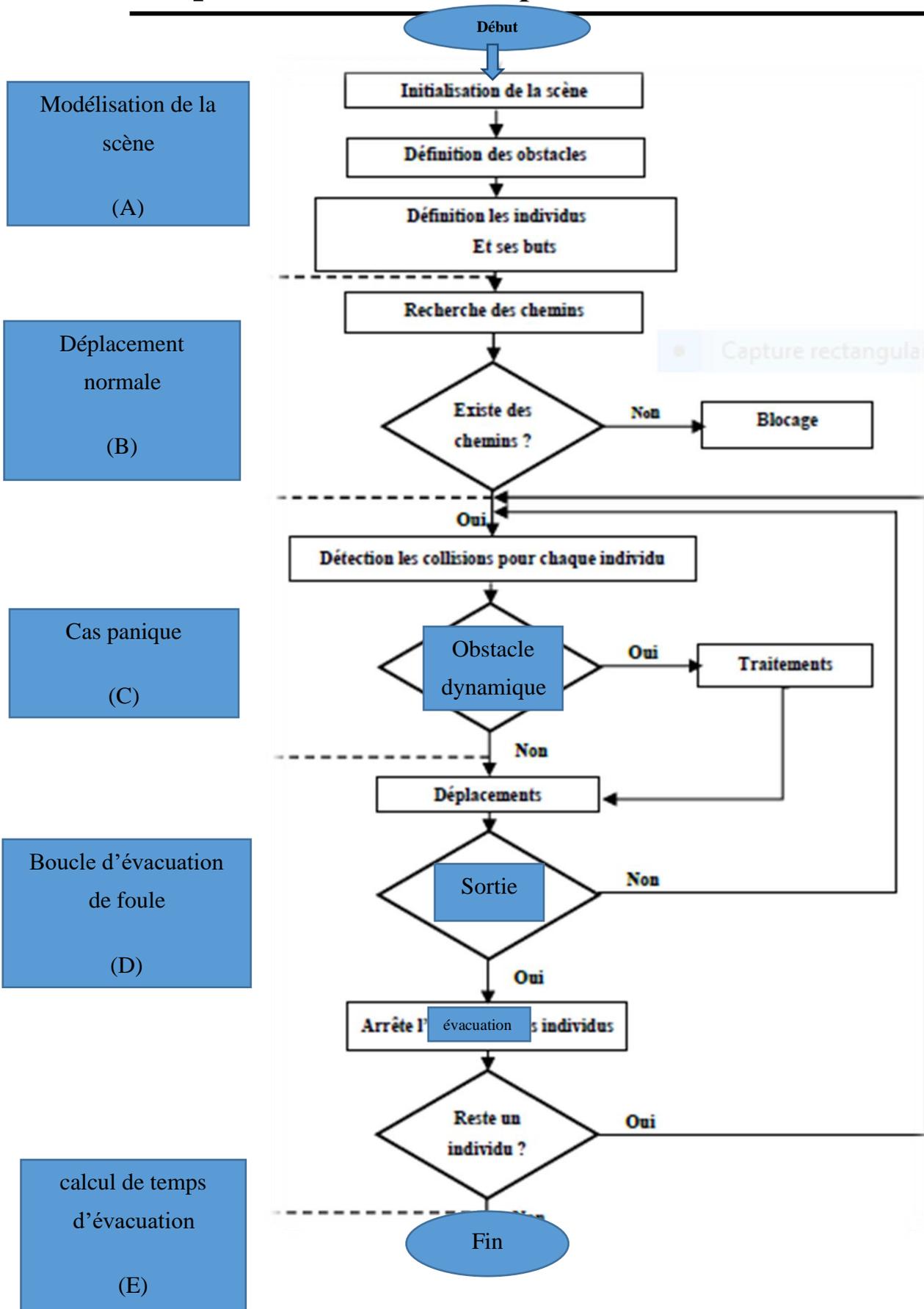


Figure 3. 5 : Organisation du système.

A) Modélisation de la scène :

Comme on a illustré précédemment notre système est composé de :

- **Un environnement** : c'est la scène où s'exécute les scénarios de notre projet contient des piétons de nombre fini. Un but est défini par la porte de sortie de secours, dans le cas normal.
- **les piétons** : on dit aussi agent, chaque piéton possède les paramètres suivants : Position, vitesse, direction.
- **L'obstacle dynamique** : parmi leurs paramètres la position L, la forme (cylindre, cube, triangle)
- **Le but ou la porte de sortie** : c'est le but de l'agent

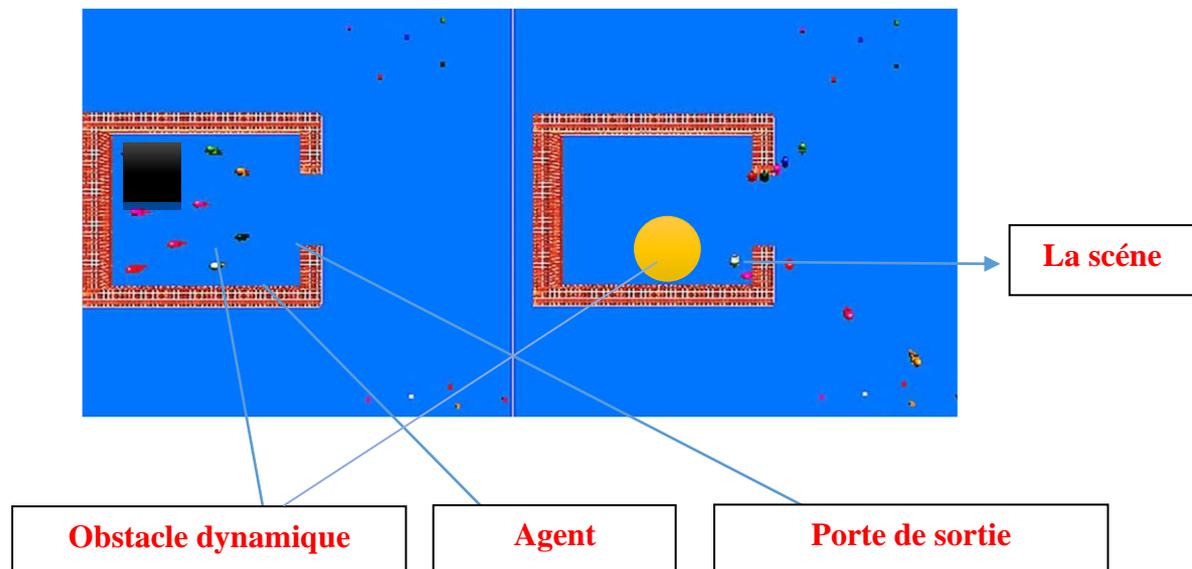


Figure 3. 6 : Modélisation de la scène.

B) Déplacement normale

L'agent se déplace pas à pas vers la sortie de l'environnement dynamique. Il est doté de trois capacités fondamentales lui permettant de réagir aux modifications de cet environnement et d'agir sur ce dernier : la perception, la décision et l'action. Ces trois briques forment la boucle perception-décision-action qui constitue le modèle le plus général représentant un organisme vivant, autonome, évoluant dans un environnement dynamique.

Chapitre 3 : La conception de l'évacuation de la foule

Le cycle perception-décision-action est à la base de nombreuses théories du comportement. Durant chaque cycle l'unité de traitement reçoit des informations sur l'environnement à l'aide des capteurs, ces informations sont analysées afin de prendre une décision appropriée, l'action choisie est alors exécutée par les effecteurs.

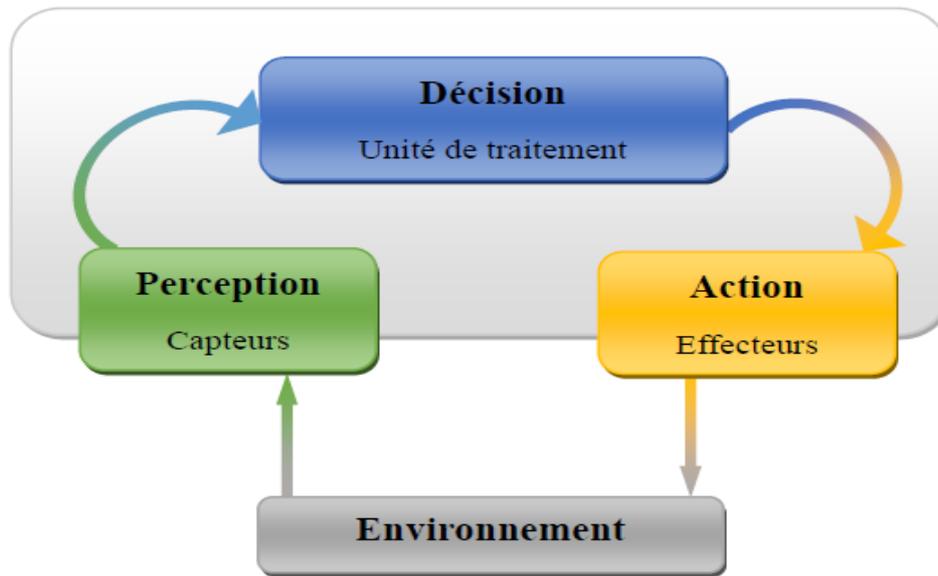


Figure 3. 7 : la boucle perception-décision-action.

La Figure 3-7 montre l'architecture de base dans la conception et la modélisation d'agents autonomes. Grâce à cette architecture de base, le problème de la modélisation des comportements cohérents et naturels, est réduite à une boucle Perception-Décision-Action.

La modélisation du comportement de déplacement est réduite à une boucle Perception-décision-Action présentée dans la Figure 3-7 .

- **La perception**

La perception d'un agent est une capacité qui lui permet d'acquérir des informations sur son environnement et sur lui-même. Elle est définie comme étant la prise de conscience de l'environnement grâce à des éléments de sensation physique.

- **La décision**

L'agent autonome doit se déplacer pas à pas en évitant les obstacles trouvés sur son chemin jusqu'à atteindre son objectif (but). L'agent comme l'être humain doit avoir plusieurs choix de direction quand il se déplace.

Chapitre 3 : La conception de l'évacuation de la foule

- **L'action**

L'action représente les moyens que l'organisme possède pour modifier l'état du monde qui l'entoure. Une action peut se traduire sous plusieurs formes : parler, manipuler un objet, se déplacer... Dans notre cas, l'action représente le déplacement de l'agent vers la direction choisie parmi l'ensemble des directions, en modifiant sa position actuelle dans l'environnement.

Cette étape consiste à la simulation du mouvement du piéton. Ainsi, dans chaque pas de l'animation comportementale et avant d'obtenir la prochaine position, chaque agent doit traiter la prévision de collision pour éviter la collision avec les autres agents de l'environnement, il suit la liste de comportements employés :

Avancement ; Changement de directions (gauche ou droite) ; Attente ; Accélération ; Ralentissement ; Retour .on suit l'algorithme suivant :

Pour chaque pas d'animation comportementale faire

Pour chaque agent faire

prédiction (détection) de Collision

Si pas de collision alors

L'agent suit son chemin

Sinon Appliquer l'algorithme l'évitement de collision

agent par agent

Fin si

Fin pour

Fin pour

➤ **Les types de collisions**

- **Collision 1** : les deux agents accèdent chacun à la cellule de l'autre ;
- **Collision 2** : les deux agents accèdent à la même cellule .figure 3.8 .

Chapitre 3 : La conception de l'évacuation de la foule

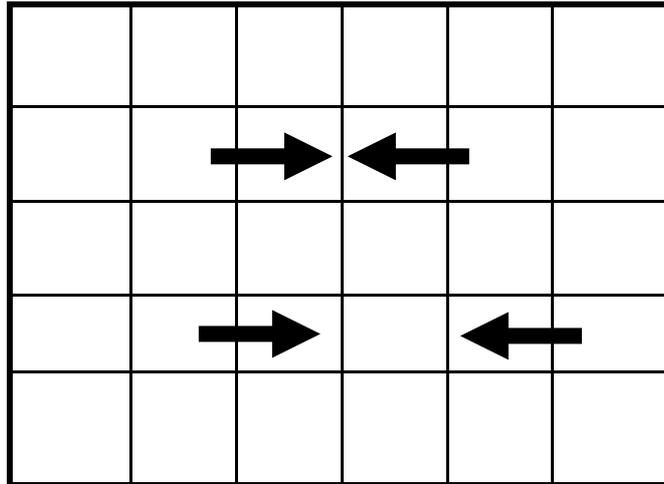


Figure 3. 8: Les types de collisions .

L'algorithme l'évitement de collision agent par agent

- **pour** chaque paire d'agents **faire**
- **si** collision face à face **alors**
- **si** les agents ont la même priorité **alors**
- Choisir un agent d'une manière aléatoire
- **si** collision 1 **alors** (deux agents accèdent à la même cellule)
- Ordre1
- **sinon** (collision 2 les deux agents accèdent les cellules de l'autre)
- Ordre2
- **Fin si**
- **sinon** commencer par l'agent qui a la priorité la plus élevée et traiter ce cas comme dans les mêmes priorités.
- **Fin si**
- **sinon si** collision en arrière **alors** (agent 2 derrière agent 1)
- Ordre 3
- **sinon** (collision de côté)
- Ordre 4.
- **Fin si**
- **Fin si**
- **Fin pour.**
-
- **Ordre 1**

<u>Agent 1</u>	<u>Agent 1</u>
Avancement	Droite
Avancement	Gauche
Droite	Avance
Gauche	Avance
Avancement	Attente

- **Ordre 2**
-

Chapitre 3 : La conception de l'évacuation de la foule

	Avancement	Droite
	Avancement	Gauche
	Droite	Avance
	Gauche	Avance
	Attente	Attente
■ Ordre 3		
■		
	Avance	Dépassement par la droite
	Avance	Dépassement par la gauche
	Avance	Ralentissement
■ Ordre 4		
	Avance	Droite
	Avance	Gauche
	Droite	Avance
	Gauche	Avance
	Avance	Attente

C) Cas panique

Le cas de panique est déclenché par un événement externe, qui modifie le traitement de la foule en prenant d'autres comportements, appelés comportements de panique. Un exemple est illustré dans la figure 3.9 :



Figure 3. 9 : Mouvement de panique dans une fan-zone à Turin .

D) Boucle d'évacuation de foule

En cas de situation de panique, plusieurs paramètres vont changer :

- **les piétons** : les paramètres suivants : Position, vitesse, direction
- **L'obstacle dynamique** : on change leur position, nombre figure (3-10).
- **Le temps d'évacuation** : On calcule le temps d'évacuation qui est le temps qui est entre l'évènement de panique et le temps du dernier piéton a quitté l'environnement.

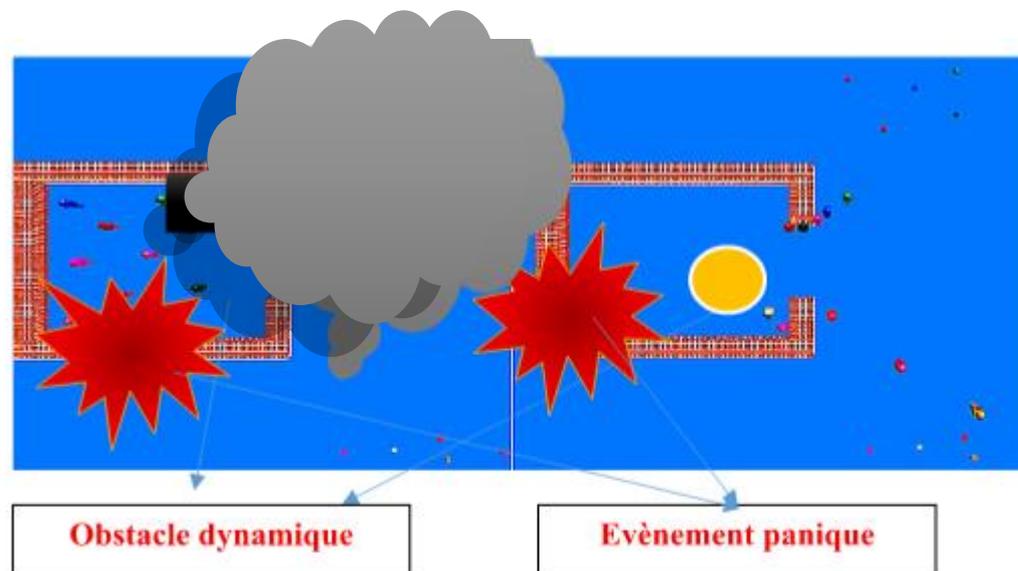


Figure 3. 10 : Evacuation de foule cas panique.

E) Calcul de temps d'évacuation

C'est l'objectif de notre travail où on veut faire une étude comparative du temps d'évacuation en modifiant la forme et la position des obstacle pour bien placer ces obstacles dans l'environnement.

Le temps d'évacuation : Calcul du temps T_0 évacuation de premier piéton, Teva le temps d'évacuation de dernier piéton quittant l'environnement.

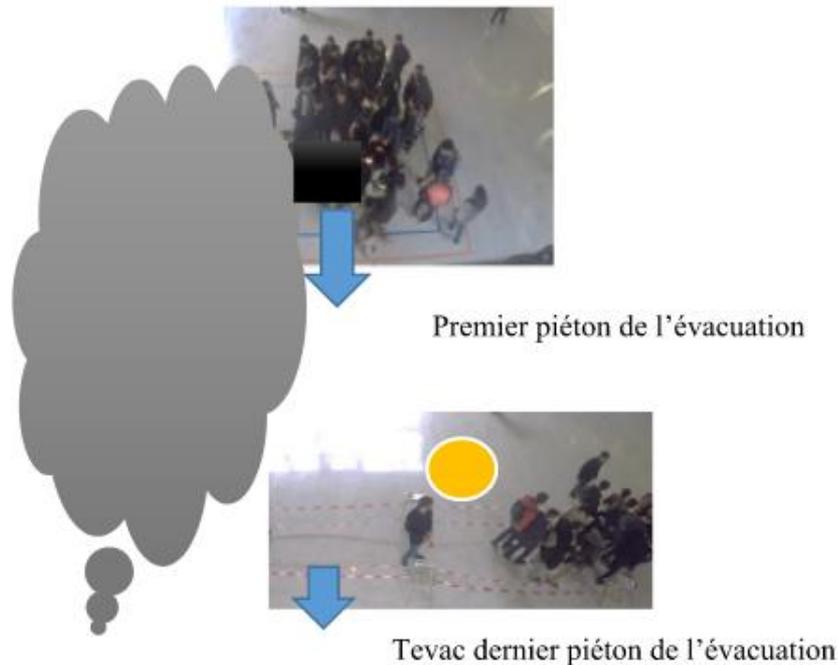


Figure 3. 11 : Le temps d'évacuation.

3.5 Modélisations UML

L'UML (Unified Modeling Language) est l'un des langages de modélisation graphique les plus utilisés. Il permet de donner une description globale et générale du logiciel à développer [34]. Pour bien décrire la modélisation du comportement de déplacement basé sur la maximisation d'utilité, nous avons choisi le diagramme de classe et diagramme d'état de transition.

3.5.1 Diagramme de classe

Le diagramme de classe contient 6 différentes classes :

Walker : Cette classe est relative aux agents, On enregistre pour chacun sa position (X, Y, Z) « Z =0 », son but « Target » et aussi son dernier choix de direction dans un attribut nommé « oldWay ».

Others : Cette classe représente les obstacles dynamiques, plus précisément les agents qui bougent dans un chemin prédéfini.

Chapitre 3 : La conception de l'évacuation de la foule

Obstacle : Cette classe définit les obstacles statiques, chaque obstacle a un point qui le représente (son centre).

Point : Cette classe définit un point dans l'espace.

Feet : Cette classe est hérité de la classe Point, on l'utilisera pour définir les K directions de l'agent, elle a un attribut de plus nommé weight où on enregistrera la valeur d'utilité pour chaque directions.

Main : Cette classe est responsable de l'exécution, elle gère l'environnement et tous les Objets

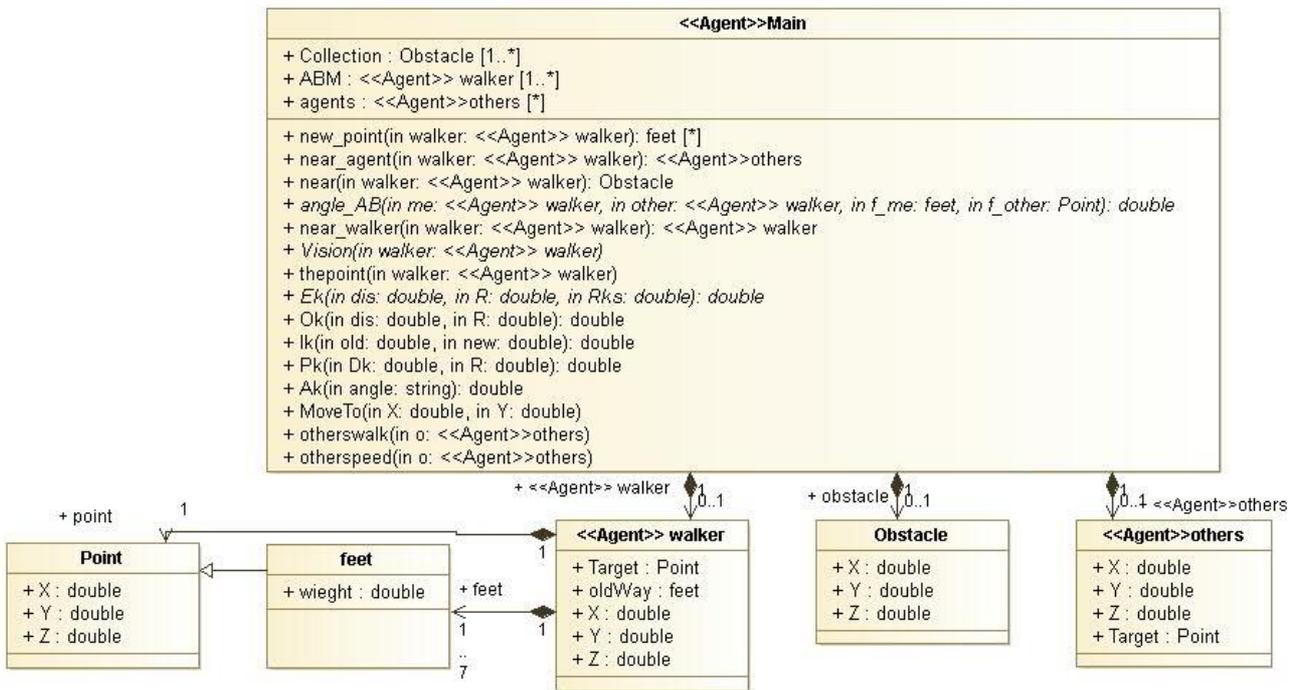


Figure 3. 12 : Diagramme de classe.

3.5.2 Diagramme d'état de transition

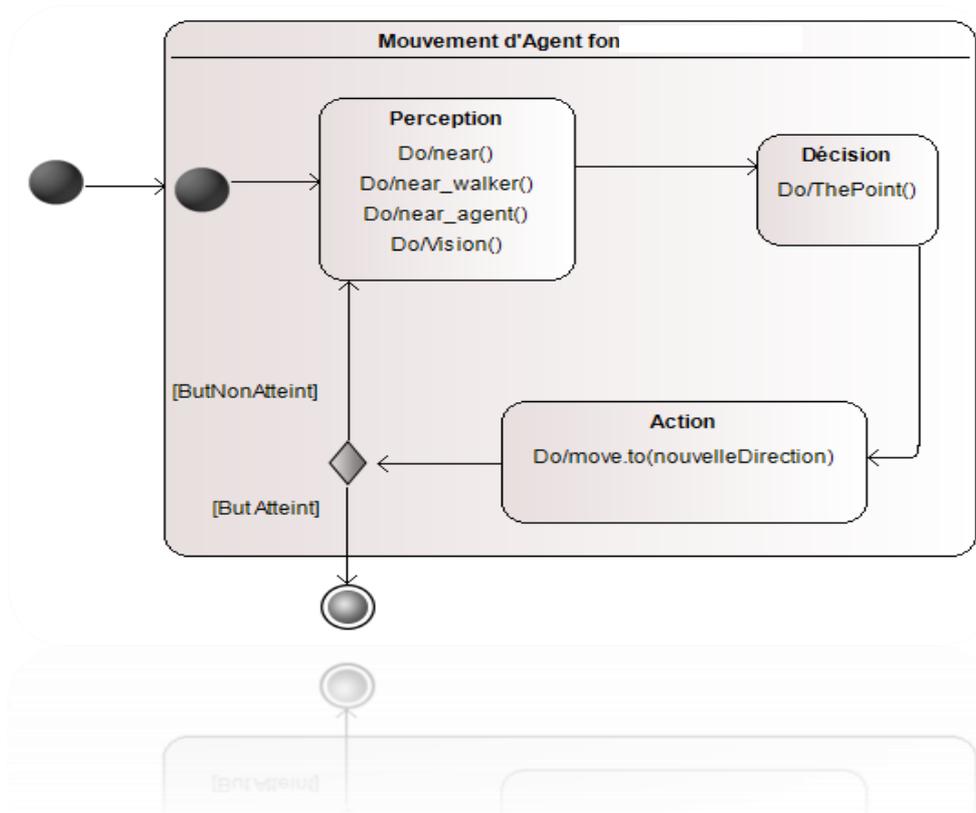


Figure 3. 13: Diagramme d'état de transition .

3.6 Conclusion

On a présenté dans ce chapitre la conception détaillée de notre système par la présentation de notre modèle d'animation comportementale qui est composé de trois modules principaux : la perception de l'environnement, le raisonnement et prise de décision, et l'action.

En suite nous avons présenté, le schéma de fonctionnement de notre système, et les détails de chaque module. Le chapitre suivant sera consacré à l'implémentation et les résultats de notre système d'évacuation de foule d'humains virtuels.

Chapitre 4 : Implémentation et résultats.

<u>Chapitre 4 : Implémentation et résultats</u>	56
<u>4.1 Introduction</u>	57
<u>4.2 L'environnement de développement</u>	57
4.2.1 L'outil d'implémentation.....	57
4.2.2 Présentation de logiciel Anylogic.....	57
4.2.2.1 L'espace de la scène sous le logiciel AnyLogic :	59
<u>4.3 Méthode de simulation</u>	62
<u>4.4 L'interface principale de notre application</u>	63
<u>4.5 Structure du Code</u>	64
<u>4.6 Les différents composants du code :</u>	65
4.6.1 Agent :	65
4.6.2 Evènement	65
4.6.3 Outils de programmation	65
4.6.4 Fonction	66
4.6.5 Variables	67
<u>4.7 Résultats et validation</u>	68
4.7.1 Initialisation de la scène.....	67
4.7.2 Déplacement normale	68
4.7.3 Situation de cas panique	68
4.7.4 Evacuation de foule	69
4.7.5 Calcul de temps d'évacuation	69
<u>4.8 Optimisation de temps d'évacuation de foule cas Panique</u>	71
<u>4.9 Conclusion</u>	77

4.1 Introduction

L'objectif de ce travail est la simulation de l'influence des obstacles dans l'évacuation de foule, en considérant le temps comme le facteur principal pour se faire, nous avons proposé dans la partie précédente un ensemble de modèles qui permettent d'atteindre un certain niveau de complexité du comportement dans le mouvement de foule en cas panique.

Une conception globale et détaillée ont été présentées dans le chapitre précédent. Dans ce chapitre, on va présenter la validation de notre système en choisissant un ensemble de scénarios et des exemples d'environnements et obstacles à l'intérieur de ces environnements.

4.2 L'environnement de développement

C'est un logiciel tridimensionnel, qui fonctionne sur une machine à base d'un processeur Intel(R) Core(TM) i3-3217U, vitesse 1.8 Ghz, RAM 4,00 Go, utilisant le système d'exploitation Windows 7 professionnel de type 64 bits. L'application est implémentée en JAVA Studio 2010, utilisée pour la modélisation de la scène.

4.2.1 L'outil d'implémentation

Pour simuler les comportements des agents dans leurs environnements, plusieurs plateformes Multi-agents ont été proposées [35]. Le but de ces plateformes est de donner une représentation visuelle des comportements des agents, leurs interactions et leurs évolutions dans le système. Selon le type de langage utilisé pour définir les modèles, les plateformes sont regroupées en deux classes :

- Les plates-formes qui permettent de définir les modèles à l'aide d'un langage de programmation générique (Java, C++, python...). Ces plateformes sont en général dédiées aux informaticiens et sont souvent les plus adaptés au développement de modèles complexes comprenant de nombreux agents et processus. Repast [20] est un exemple de ce type de plateformes.
- Les plates-formes qui permettent de définir des modèles à l'aide d'un langage de modélisation dédié. Ces plates-formes sont généralement plus simples à utiliser que celles de la première catégorie et sont donc destinées à une plus large gamme d'utilisateurs. Elles requièrent néanmoins des connaissances en algorithmique. La plate-forme Netlogo [34], Anylogic fait partie de cette catégorie.

Généralement, pour qu'un outil soit considéré comme un environnement de développement, doit satisfaire les critères suivants :

1. Méthodologie
2. Facilité d'apprentissage de l'outil
3. Transition entre les étapes
4. Souplesse de l'outil
5. Outil de "débuggage"
6. Support graphique pour le développement et implémentation
7. Support pour la gestion du système
8. Diminution de l'effort demandé et simplicité d'implémentation
9. Support pour les bases de données
10. Génération de code
11. Extensibilité du code
12. La documentation.

Actuellement les chercheurs et les développeurs ont inventé des différents outils qui facilitent la création des agents parmi ces outils on a : Mason, Netlogo, Repast, Anylogic ...

Nous avons choisi d'implémenter notre projet à l'aide de Logiciel : AnyLogic pour sa souplesse, sa facilité d'apprentissage et aussi parce que il utilise le langage Java.

4.2.2 Présentation de logiciel Anylogic

Anylogic est un outil de simulation développé par AnyLogic Company. Il possède un langage de modélisation graphique et facilite également l'extension du modèle de simulation avec le code Java. L'édition PLE d'AnyLogic est disponible gratuitement pour un usage pédagogique.

AnyLogic comprend le langage de modélisation graphique et il permet aussi à l'utilisateur d'effectuer des modèles de simulation avec le code Java. On peut accéder par le lien :<http://www.anylogic.com>

Il y a différents domaines selon le besoin de l'utilisateur par exemple :
 Free personal learning edition, recherche universitaire, Professional.

On a choisi AnyLogic 8 Personal Learning Edition 8.7.4. La fenêtre principale est présentée dans la figure 4.1.

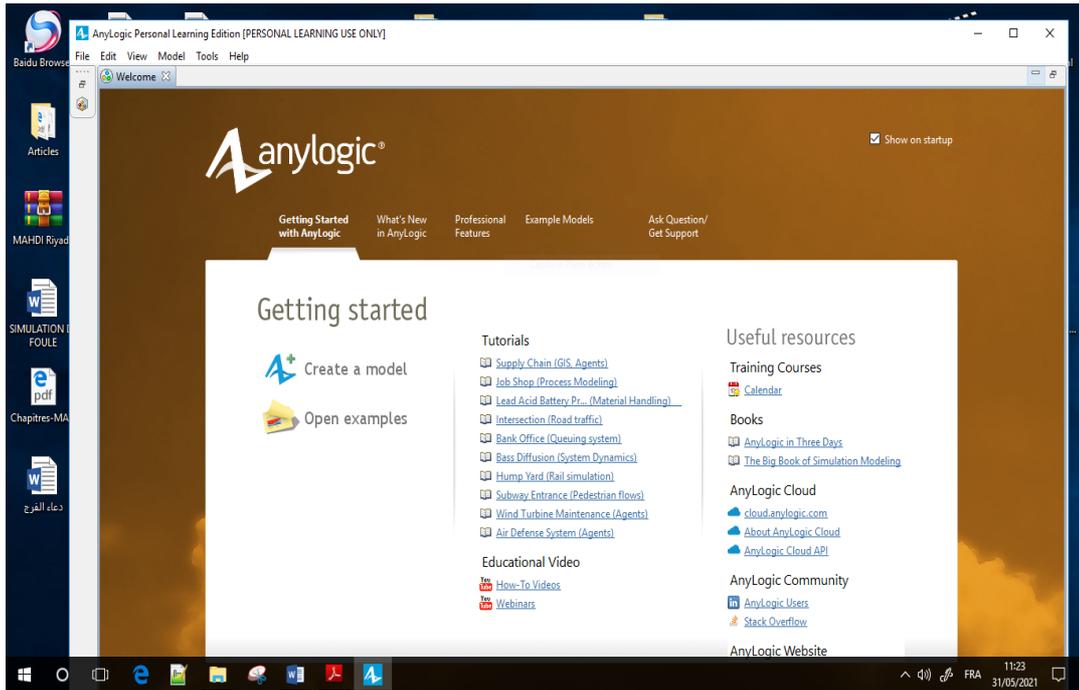
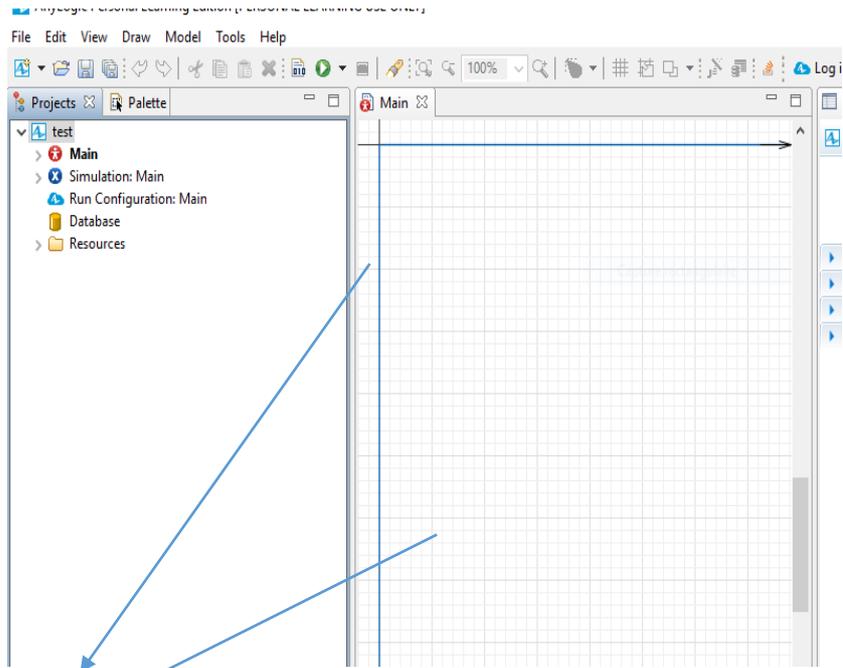


Figure 4. 1 : La fenêtre principale de Anylogic.

4.2.2.1 L'espace de la scène sous le logiciel AnyLogic :

La scène est composée de cellules comme dans la figure 4.2



Automates cellulaires

Figure 4. 2 : L'automate cellulaire.

L'outil Anylogic se décompose de 3 grandes parties qui sont :

- Projects et Palette.
- Éditeur graphique.
- Properties View.



➤ Palette

La vue Palette fournit la liste des éléments de modèle graphique regroupés par catégories dans un certain nombre de pochoirs (Palettes).

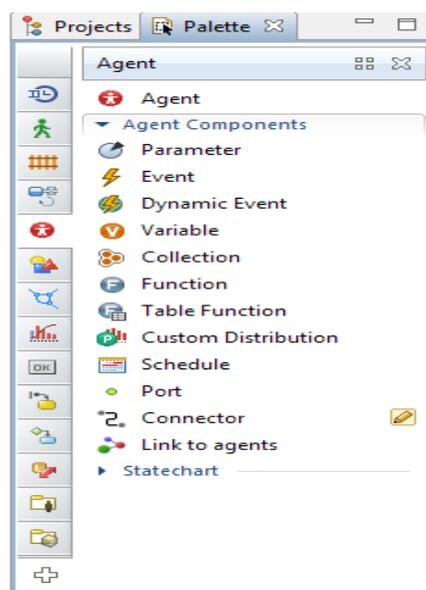


Figure 4. 3 : Palette.



➤ Projects

La vue Projets permet d'accéder aux projets AnyLogic actuellement ouverts dans l'espace de travail.

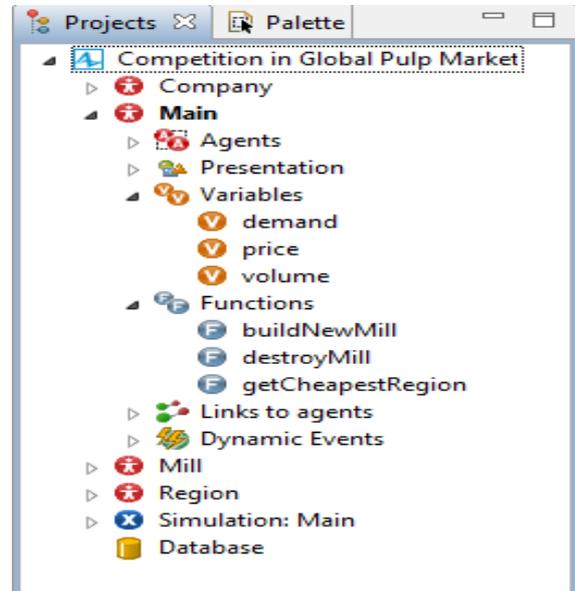


Figure 4. 4: Project.

➤ Éditeur graphique

Le diagramme graphique est l'endroit où vous définissez la structure de votre type d'agent.

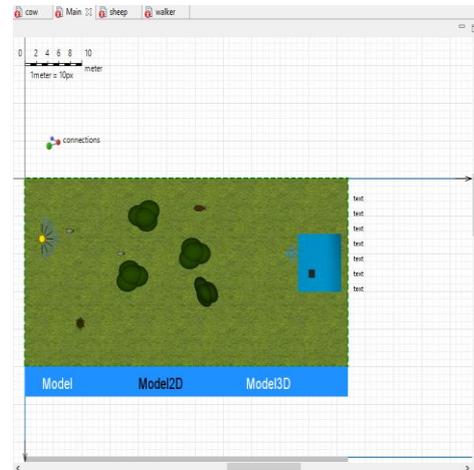


Figure 4. 5 :Éditeur graphique

➤ Properties View

La vue Propriétés permet d'afficher et de modifier les propriétés d'un ou plusieurs éléments de modèle actuellement sélectionnés.

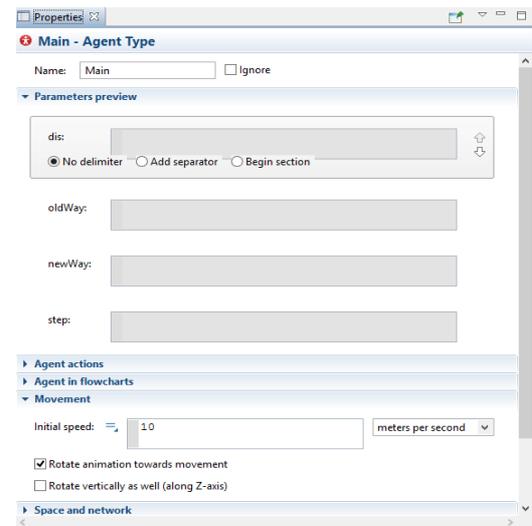


Figure 4. 6 : properties View.

4.3 Méthode de simulation

La figure 4.7 illustre les différents composants de notre méthode de simulation. Notre modèle de simulation est une scène composée de deux éléments principaux « Agent et l'environnement » déterminés par le réalisateur de l'animation. Cette structure représente

les différentes unités principales de notre simulation. Elle détermine aussi les relations entre différents objets, qui permettent les échanges des données.

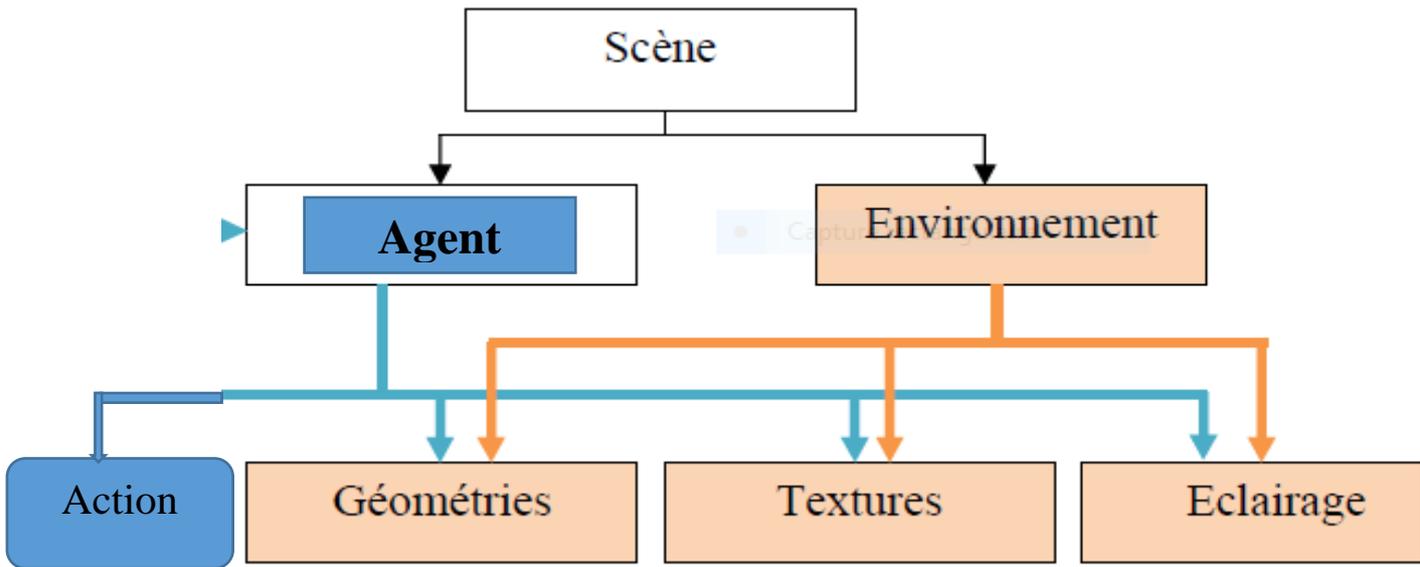


Figure 4. 7 : Structure de simulation.

4.4 L’interface principale de notre application

Notre application contient quatre fonctions Illustrées dans la figure suivante :

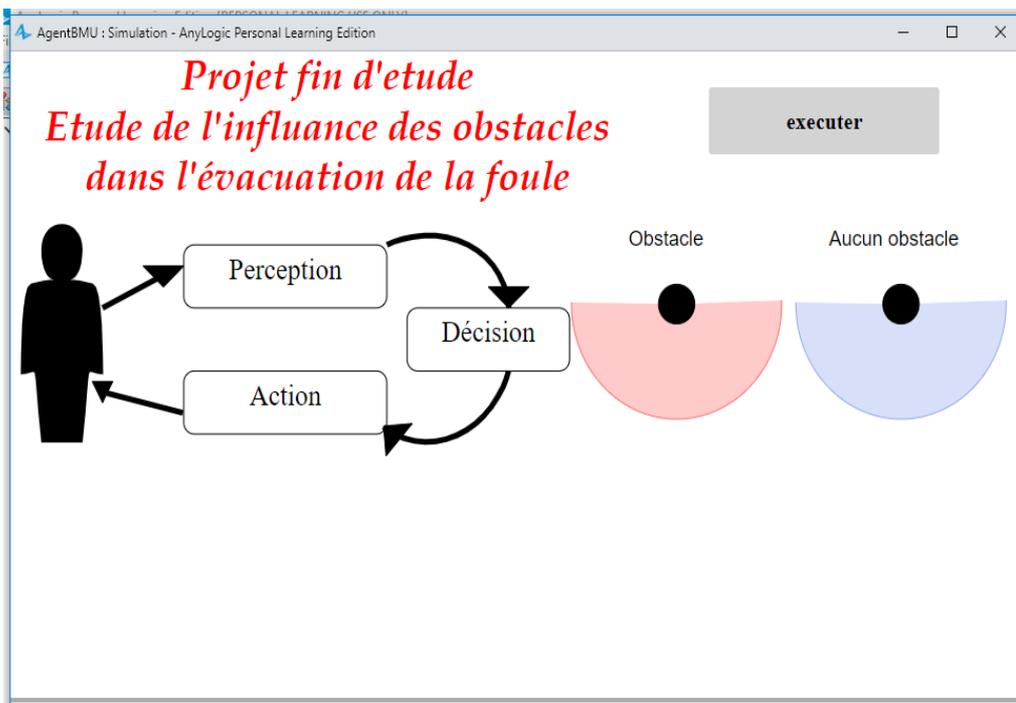


Figure 4. 8 : Fenêtre principale de notre application.

4.5 Structure du Code

Notre code se décompose de 5 parties, comme il est indiqué dans la figure 4.9 suivante :

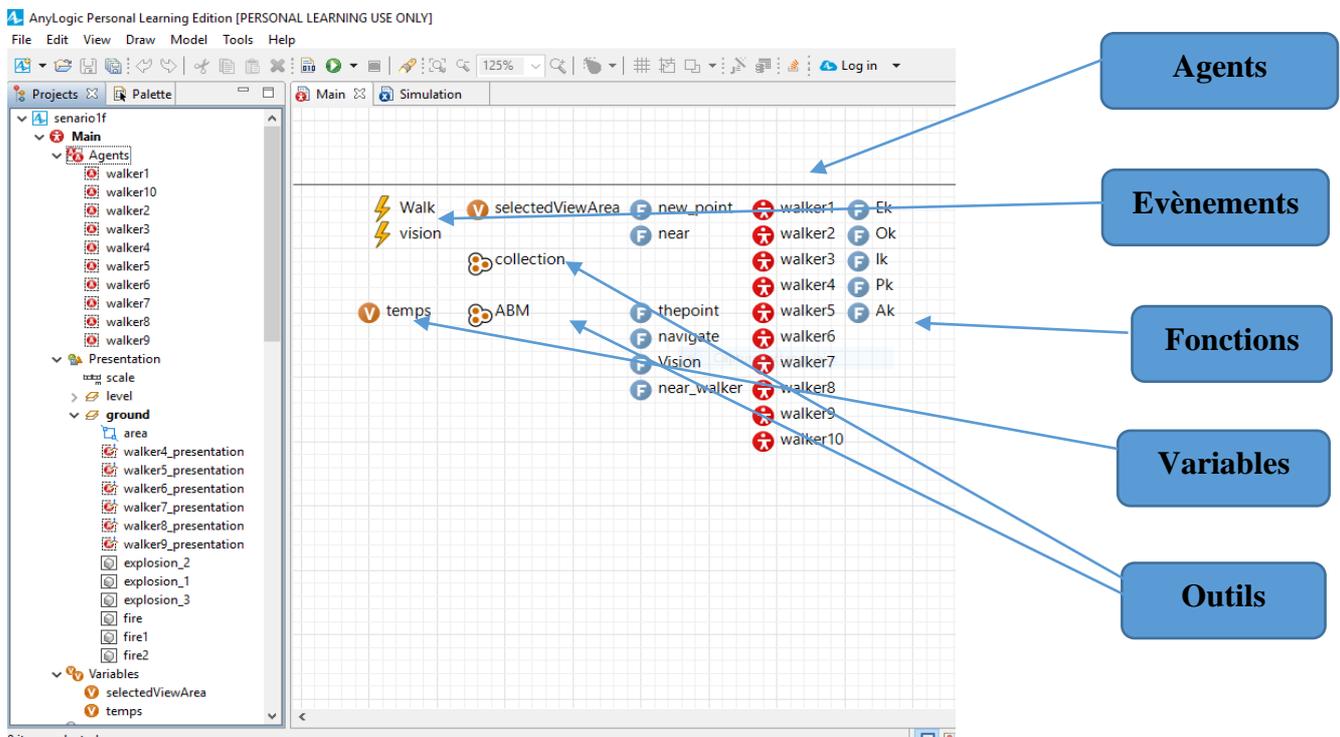


Figure 4.9 : les composants du code.

4.6 Les différents composants du code :

4.6.1 Agent : concerne les agents que nous avons utilisés dans les simulations.

Le nombre des agents que on a utilisé dans notre expérience est 10 , puisque on a choisi le modèle microscopique , où chaque agent est traité individuellement . En anglais **walker**

4.6.2 Evènement: montre les évènements qui sont représentés par les moteurs d'exécution suivants :

- **Walks** : exécute la fonction main qui exécute notre projet.
- **Vision** : changer la couleur du champ de vision.

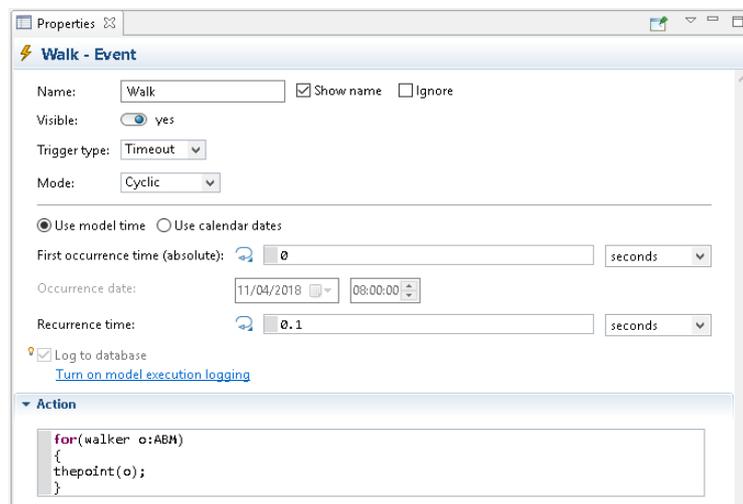


Figure 4. 10 : Exemple d'un moteur d'exécution.

4.6.3 Outils de programmation : montre les outils de programmation

que nous avons utilisés dans notre programme, 3 ArrayListes :

- **ABM**=>agent.
- **Agent**=> other.
- **Collection**=>les obstacles.
- **Targets**=>les buts pour les autres agents (others).
- **Camera**.
- Sélection de la zone de vue.

4.6.4 Fonction :montrent les différentes méthodes pour notre code Tableau 4-

1. La méthode la plus importante est « the point » qui est considérée comme la méthode principale.

Méthodes	Fonctionnement
new_point ()	Création des points représentant les directions disponible de l'agent.
near ()	Retourner l'obstacle le plus proche à notre agent trouvé sur sa zone de vue.
near_agent ()	Retourner l'agent (parmi ceux qui ont un chemin prédéfini) le plus proche de notre agent.
near_walker ()	Détecter les agents (agent fondé sur l'utilité) les plus proches de notre agent, pour pouvoir éviter les risques de collision entre eux
Vision ()	Gère le changement de la couleur de champ de vision de l'agent s'il existe un obstacle dans cette zone, le champ changera de couleur du bleu au rouge.
Angle_AB ()	Retourne l'angle entre 2 agents (A et B).
Ek (), Ok (), Ik (),Pk () et Ak ()	Chacune de ces fonctions retourne la valeur calculée selon sa formule mathématique.
Thepoint ()	Cette méthode choisit le meilleur choix pour le mouvement suivant.
moveTo ()	Fonction pour le déplacement des agents.
Otherswalk ()	Gérer le déplacement d'autres agents qui n'utilise pas l'utilité.

Tableau 4. 1 : Code des méthodes.

```

ArrayList<feet> l=new ArrayList<feet>();          l=new_point(walker);
ArrayList<walker> lw=new ArrayList<walker>();
int i;  double ep=0.9,wo=0.9,we=2.5,wi=0.3,wp=0.8,wa=2;
Shape3DObject nod=near(walker);      others ag=near_agent(walker);      walker wy=near_walker(walker);
Point p=new Point(walker.target.getX(),walker.target.getY());      Point p2=new Point(nod.getX(),nod.getY());
Point p3=new Point(ag.getX(),ag.getY());
if(ag.getX()<walker.getX() || (ag.getX()-walker.getX())>60){wa=0; wp=0;}
else {
if(ag.isMoving())
wp=0;
else
wa=0;
}
if(nod.getX()<walker.getX()){wo=0;}
if((walker.target.getX()-5)>walker.getX())
{for(i=0;i<l.size();i++){
if((area.getHeight()-l.get(i).getY())<=10 || l.get(i).getY()<=area.getY() )
ep=-5;
else ep=0.5;
double Oa=angle_AB(walker,l.get(i),ag,ag.Target);
double dis1=p.distance(l.get(i).x,l.get(i).y,0);
double dis2=p2.distance(l.get(i).x,l.get(i).y,0);
double dis3=p3.distance(l.get(i).x,l.get(i).y,0);
l.get(i).weight=wo*Ok(dis1,35)+we*Ek(dis1,35,20)+wi*Ik(walker.oldWay,i)+wp*Pk(dis1,35)+wa*Ak(Oa)+ep;}
double X=walker.getX()+2,Y=walker.getY(),
w=l.get(0).weight; int kk=0;
for(feet o:l)
{if(o.weight>=w){w=o.weight; walker.oldWay=kk; X=o.x; Y=o.y; } kk++;}
walker.moveTo(X,Y, 0); } else {walker.stop();}

```

Figure 4. 11 : code de fonction thepoint.

4.6.5 Variables : les variables qui changent leur valeur :

- temps** : qui mesure le temps d'évacuation, par ces valeurs on construit le graphe de temps.
- selectvewarea** : la zone de direction de l'agent.

4.7 Résultats et validation

Dans l'étude expérimentale nous avons fait la représentation des différents résultats obtenus par notre application à l'aide de simulateur AnyLogic. Nous avons commencé l'initialisation de la scène, exécution du programme et calculer le temps d'évacuation pour chaque situation.

4.7.1 Initialisation de la scène

La scène initiale est représentée dans la figure 4.12 suivante :

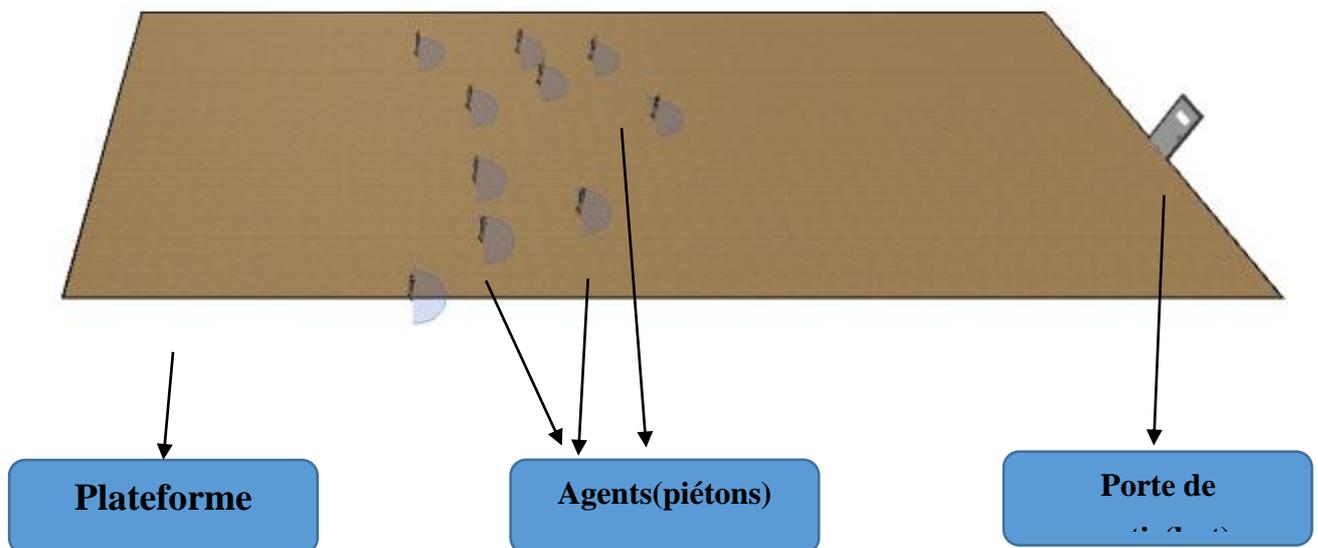


Figure 4. 12 : La scène initiale.

4.7.2 Déplacement normale

Les individus se déplacent dans la scène de façon normale, sans aucun obstacle de début jusqu'à la porte de sortie, attendre le but finale comme dans la figure 4-13 suivante :



Figure 4.13 : Déplacement normale.

4.7.3 Situation de cas panique

C'est l'état de déclenchement de l'évènement, cas panique on a choisi l'incendie, des flammes

figure 4.14 :

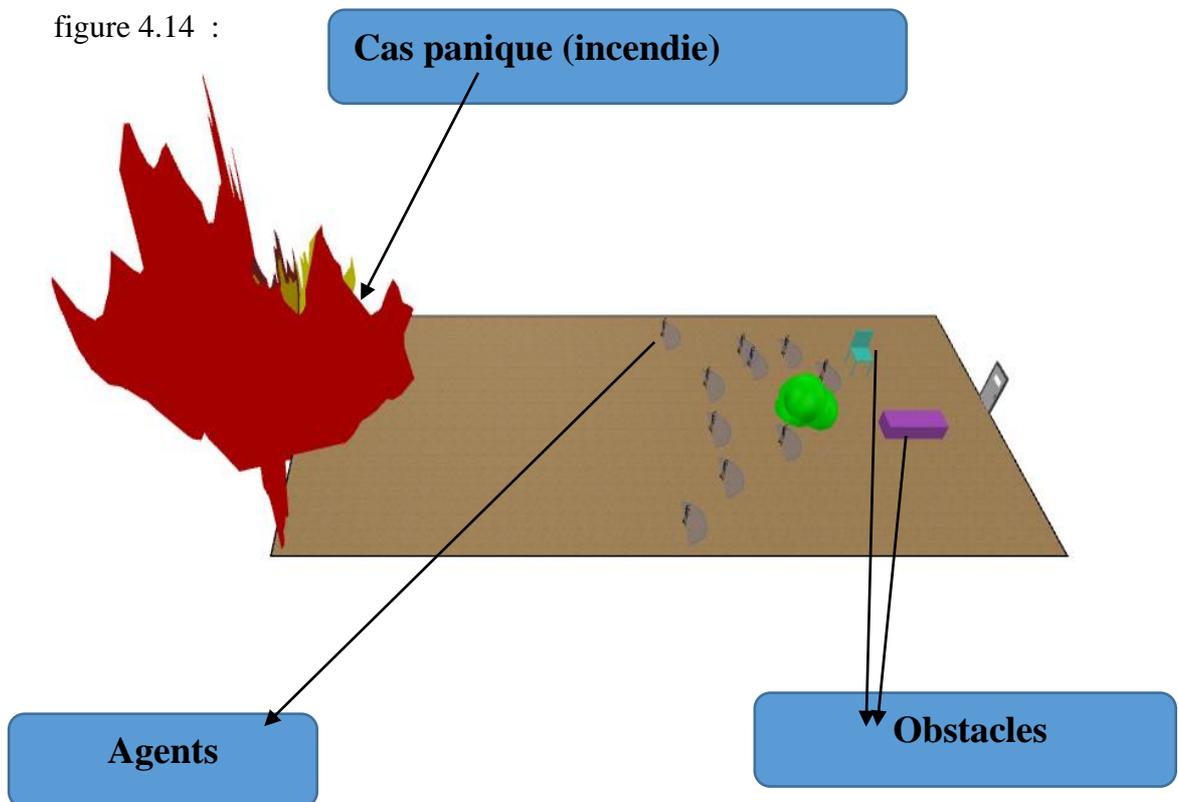


Figure 4.14 : cas panique.

4.7.4 Evacuation de foule

Le mouvement de la foule où tous les individus accélèrent (courent) pour sortir de la scène, comme dans la figure 4.15 :

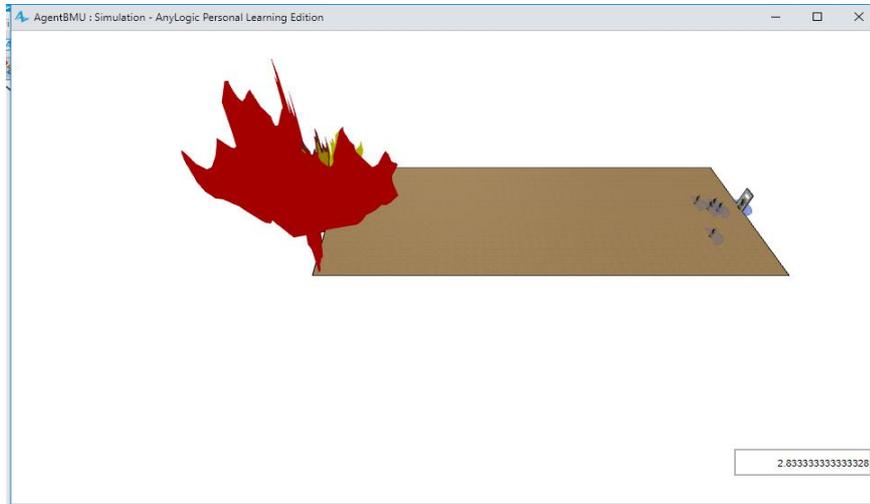


Figure 4. 15 : l'évacuation de foule en cas de panique.

4.7.5 Calcul de temps d'évacuation

C'est le temps de dernier piétons dans le mouvement de la foule représenté dans la figure4.16 :

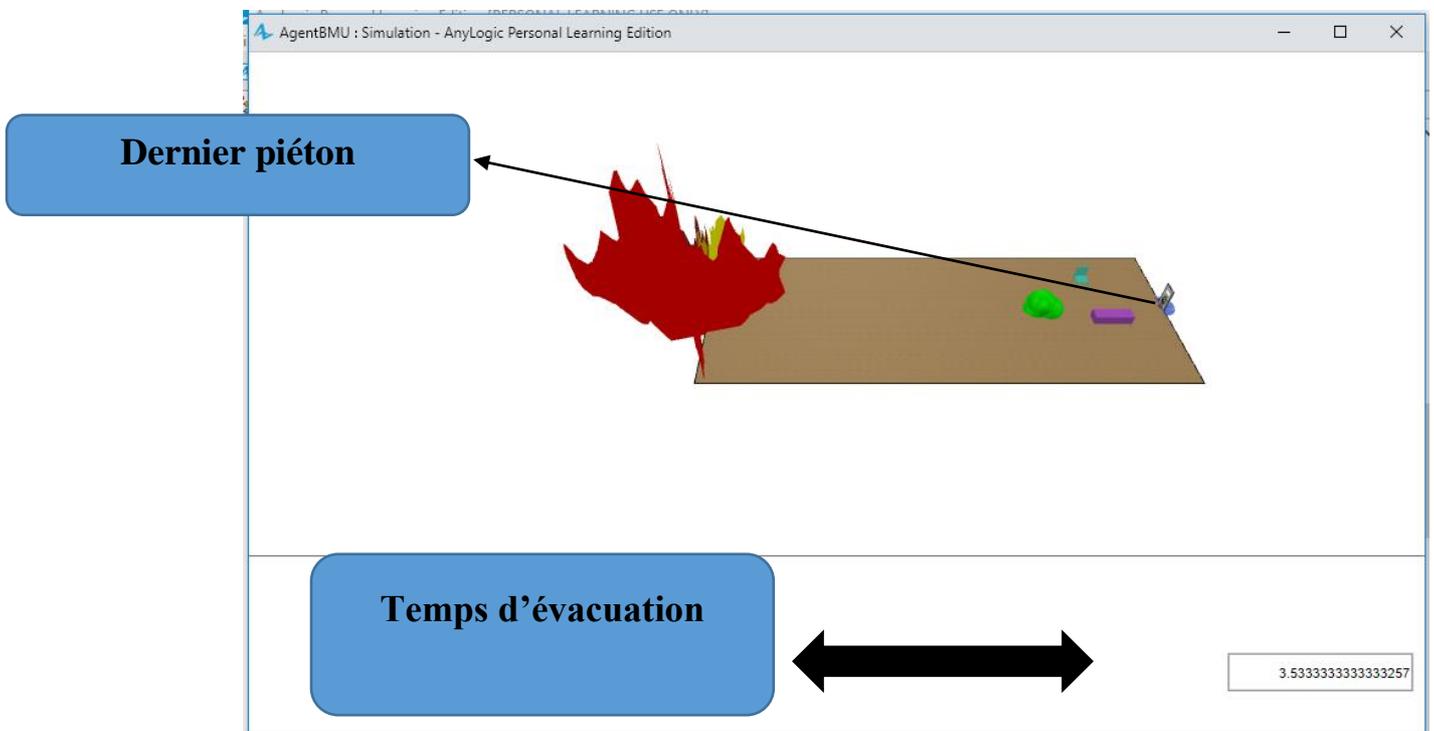


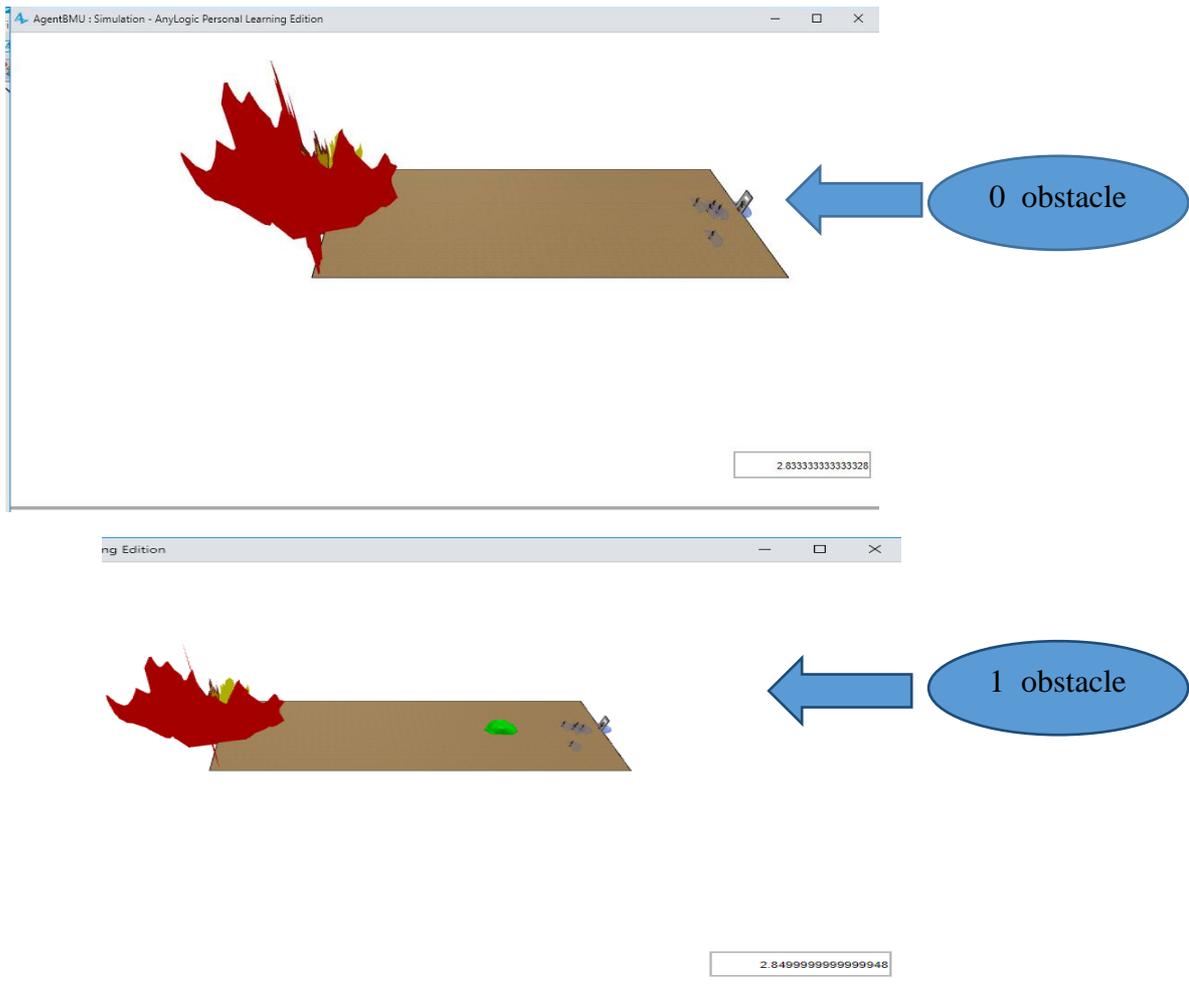
Figure 4. 16 :Le temps d'évacuation.

4.8 Optimisation de temps d'évacuation de foule cas Panique

A-Nombre d'obstacles :

On change chaque fois le nombre des obstacles selon la figure 4.17

On calcule le temps d'évacuation .



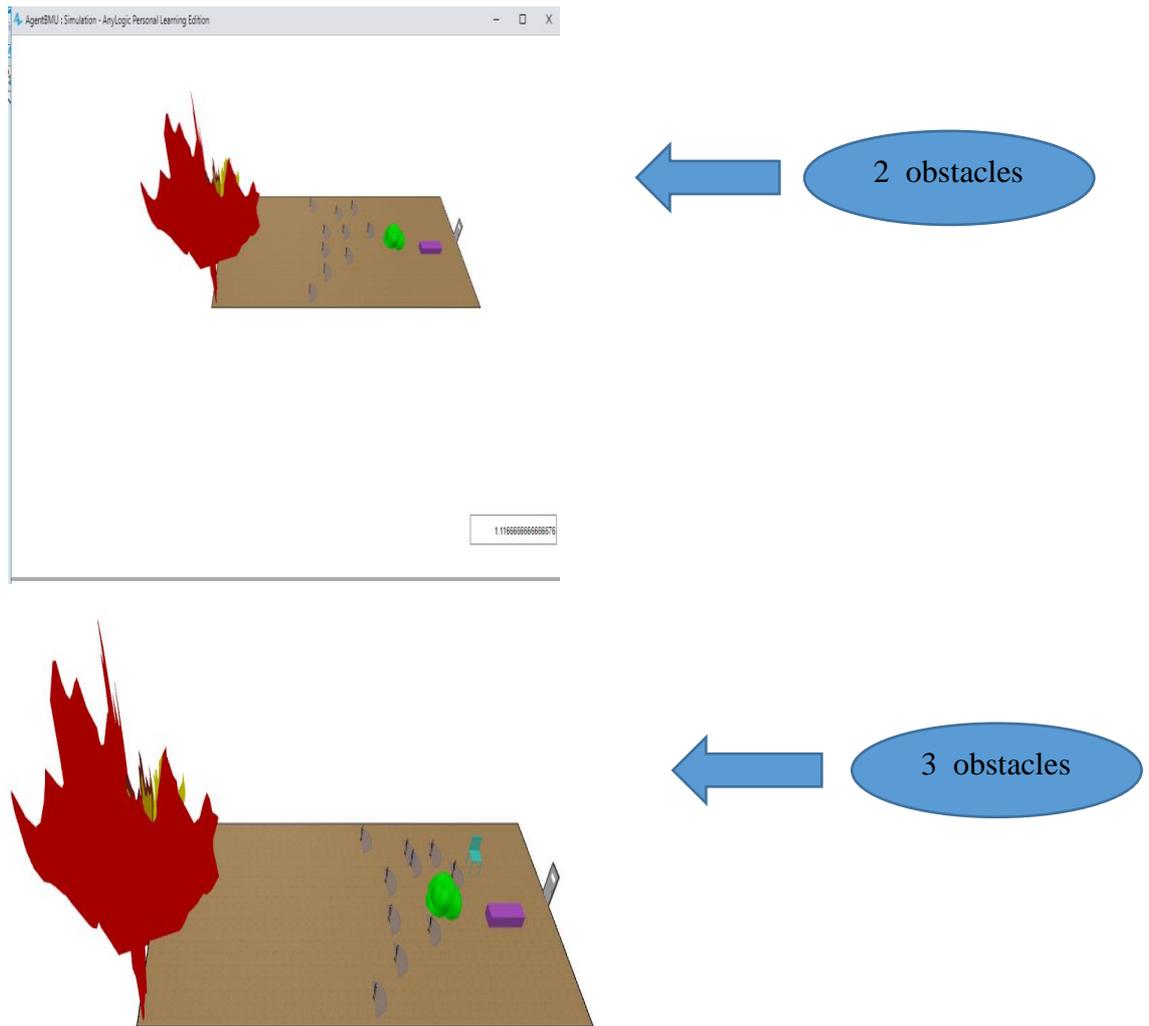


Figure 4. 17: Nombre d’obstacles.

D’après notre étude expérimentale on a organisé les valeurs obtenues de temps dans le tableau suivant :

Nombre d’obstacles	0	1	2	3
Temps d’évacuation	1.5	2.5	3.5	4.5

Tableau 4. 2 : Etude de temps.

On construit le graphe équivalent à l’aide de logiciel Excel 2013,figure 4.18.

On a remarqué que le temps d'évacuation est augmenté d'une manière linéaire en fonction du nombre d'obstacles.

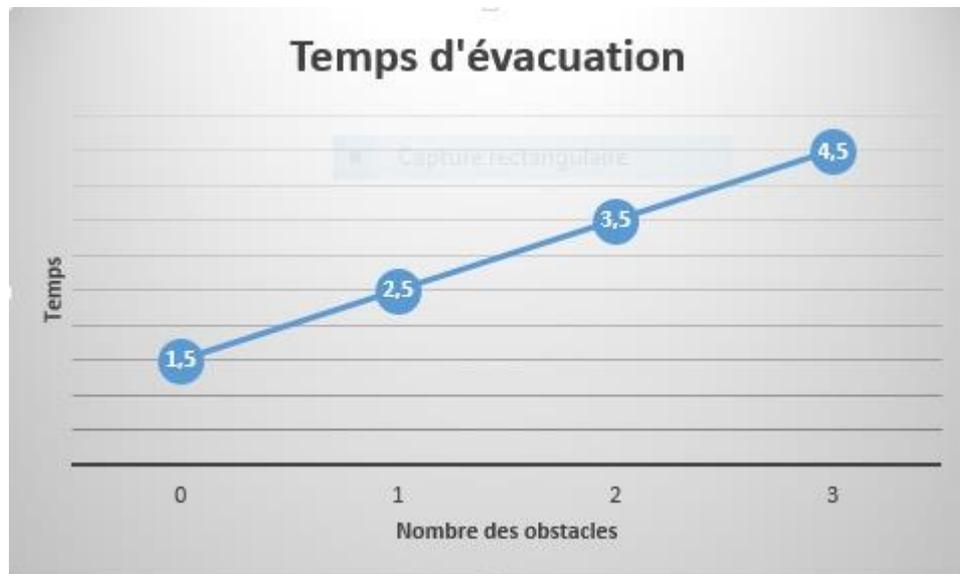


Figure 4. 18 : Influence nombre d'obstacle et temps d'évacuation.

B- La distance de l'obstacle par rapport la porte de sortie

La distance des obstacle est un facteur très important dans l'optimisation du temps de l'évacuation , on a fait des tests pour simuler un ensemble de cas, en modifiant la position et la forme des obstacles et refaire la simulation de panique en gardant la même scène initiale.

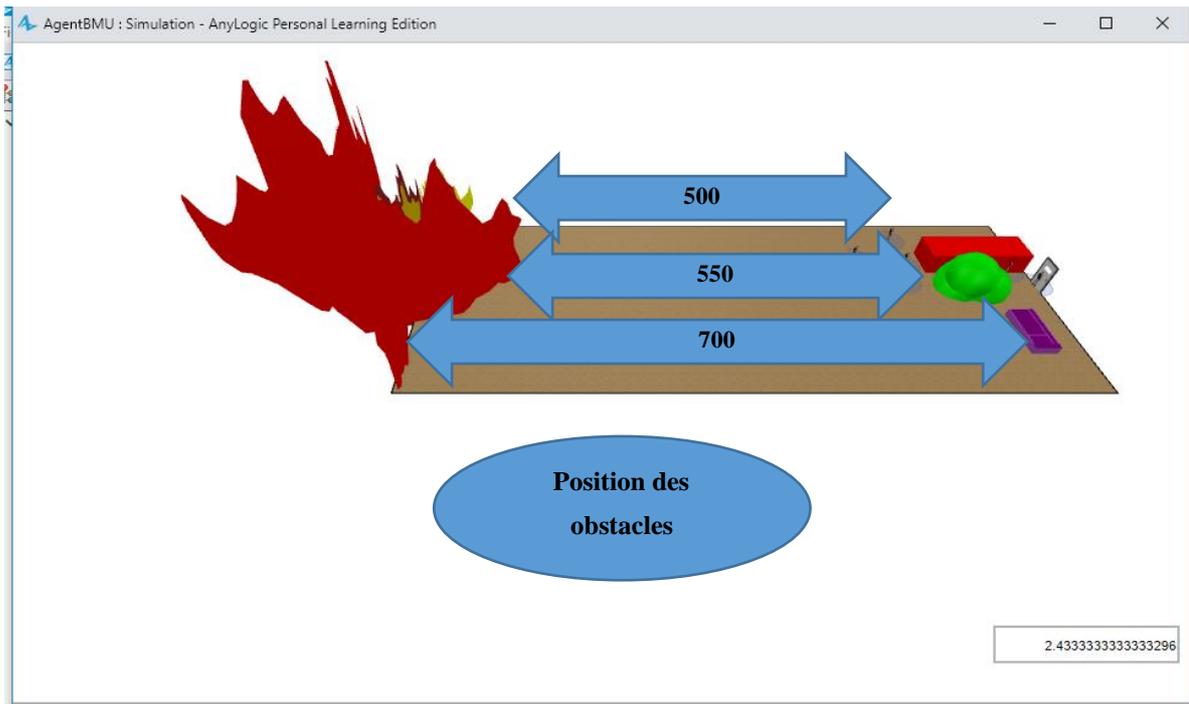


Figure 4. 19 : position des obstacles.

A l'aide de logiciel Excel2013 on construit le tableau 4.2 qui contient la position des obstacles dans la scène, simulée dans la plateforme de AnyLogic :

Position des obstacles	0	500	550	700
Temps d'évacuation	1.5	3.44	3.46	3.51

Tableau 4. 3 : Etude de temps d'évacuation par rapport position des obstacles.

On obtient le graphe représenté sur la figure 4.20 suivante :

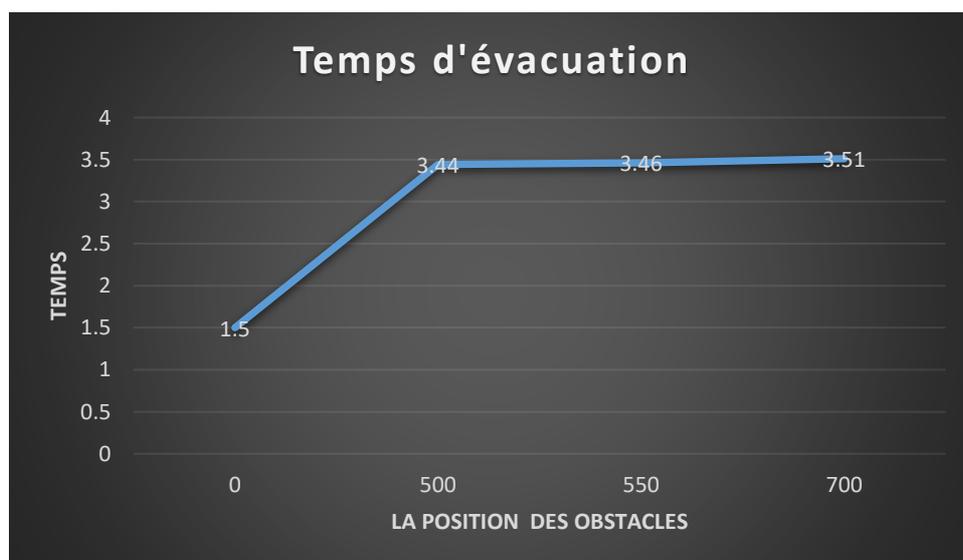


Figure 4. 20 : Influence de position des obstacle au temps d'évacuation.

❖ Scène plus complexe :

On a fait plusieurs test avec variété des scènes ,on a plusieurs scénarios , de scène initiale vide, vers scène simple puis scène plus compliquée comme dans les figures suivantes :

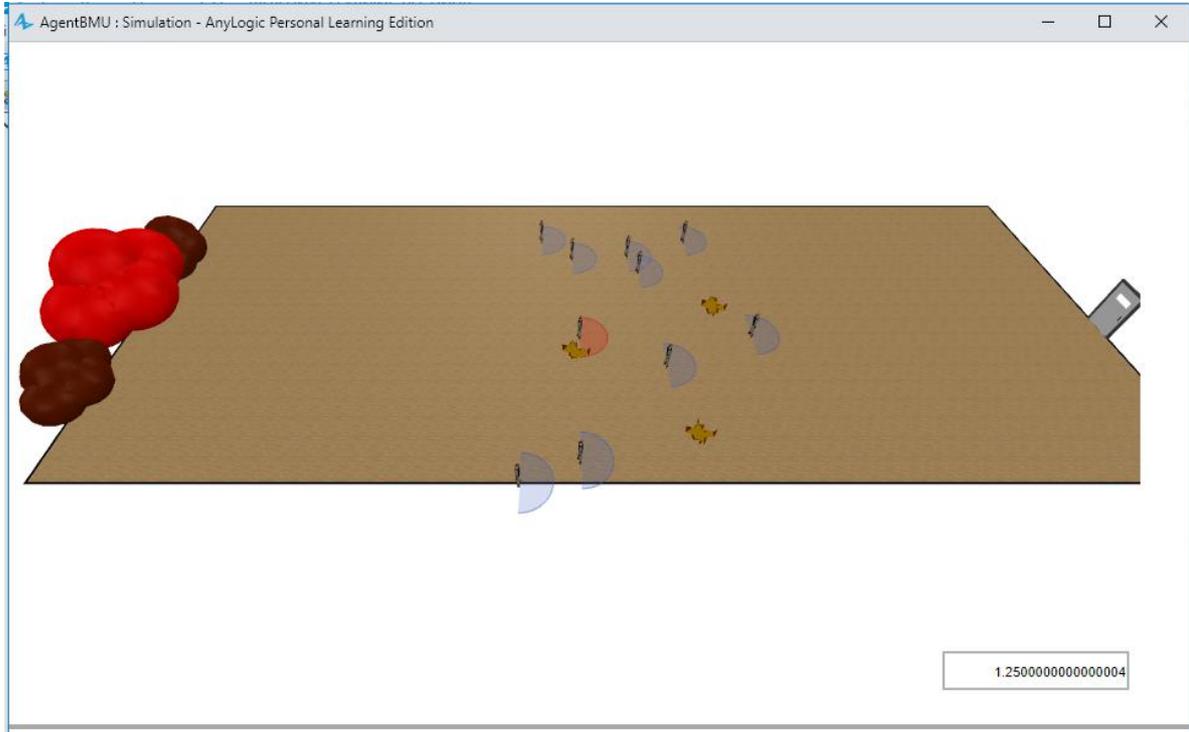


Figure 4. 21 : Scénario 1 (Scène vide).

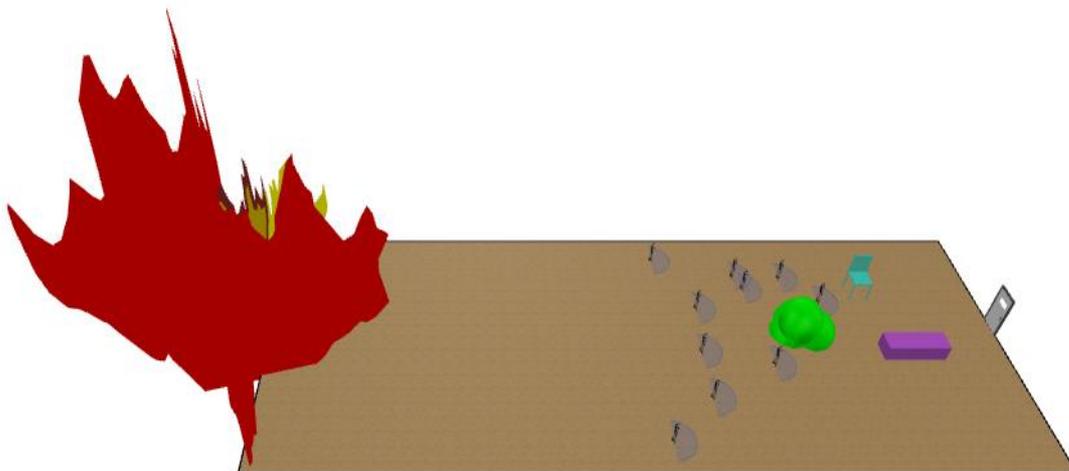


Figure 4. 22: Scénario 2.

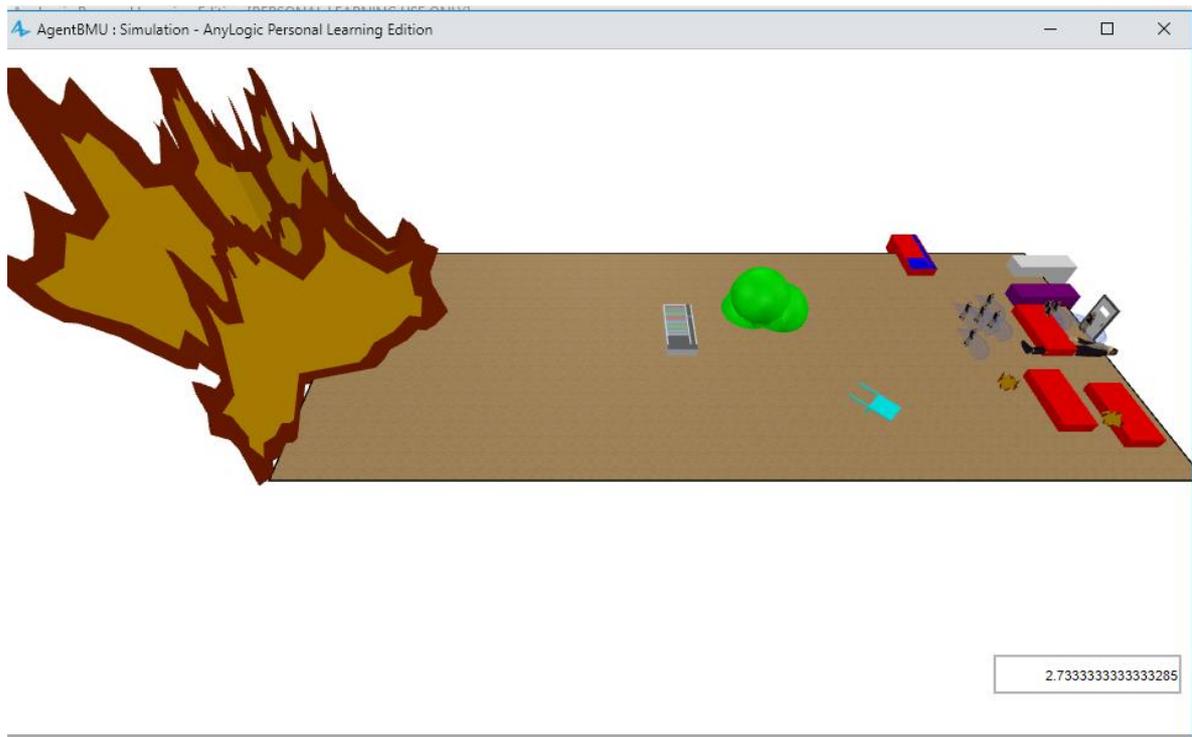


Figure 4. 23 : Scénario 3 (Scène complexe).



Figure 4. 24 : Scénario 4 Scène plus complexe.

Complexité des scènes	Scénario1	Scénario2	Scénario 3	Scénario 4
Temps d'évacuation	1.25	2	2.73	3.13

Tableau 4. 4 : Etude de temps d'évacuation par rapport la complexité de la scène.

On construit le graphe suivant :

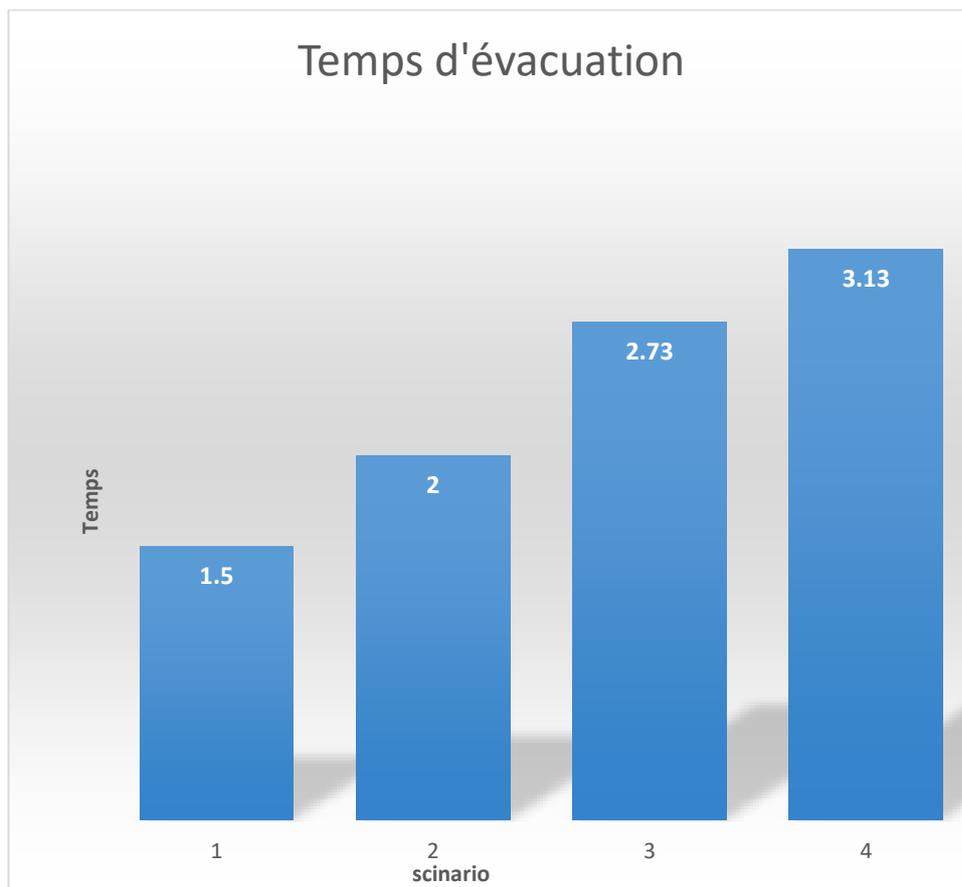


Figure 4. 25 : les différent scénarios selon la complexité de la scène.

D'après les tests qu'on a fait, en changeant les paramètres de l'environnement en fonction du temps d'évacuation, on peut conclure :

**Minimiser le nombre d'obstacles et bien les positionner, on peut optimiser le temps d'évacuation de la foule en cas de panique et ceci pour bien éviter des catastrophes :
perte humaine**

4.9 Conclusion

Nous avons présenté dans ce chapitre notre implémentation du modèle de foule d'humains virtuels, et plus précisément l'évacuation de foule en cas de panique. Notre étude est faite sur l'influence des obstacles sur le temps d'évacuation, en modifiant les paramètres de la scène (environnement) et en calcule le temps d'évacuation pour chaque cas et voir les situations qui optimisent ce temps. La plateforme Anylogic, nous a facilité la tâche de programmation et de simulation.

Les résultats présentés sont équivalents à la réalité.

Parmi les limites et les inconvénients de l'approche utilisée, on a remarqué que :

- Côté logiciels(Software) : la partie évitement de collision entre les agents, n'est pas faite parfaitement et nécessite une amélioration.
- Coté matériel (Hardware) : Si on augmente le nombre d'agents, chaque agent fait ses calculs indépendamment de l'autre, ce qui augmente le temps de calcul. Qui est très coûteux en utilisant que le CPU (le processeur).

Conclusion générale

Conclusion générale

Notre problématique est l'étude de l'influence des obstacles dans l'environnement pour optimiser le temps d'évacuation en cas de panique (urgence), et ceci pour minimiser les pertes humaines. Notre étude sera utilisée par les architectes pour la conception des environnements adaptés à ce type de problèmes. Nous avons proposé un modèle d'animation comportementale dédié à la simulation d'une foule d'humains virtuels.

Nous avons concentré notre étude sur la boucle d'animation à savoir la perception, décision et l'action pour simuler le déplacement des piétons dans un environnement virtuel.

Nous avons aussi appliqué un algorithme de recherche de chemin qui est la sortie et traité le problème d'évitement de collision entre les piétons. Nous avons appliqué ce modèle pour la simulation de l'évacuation en cas de panique en jouant sur les paramètres de l'environnement, le nombre d'obstacles, la position et la forme des obstacles pour voir l'influence sur le temps d'évacuation.

Nous avons rencontré quelques problèmes de temps de calcul en augmentant le nombre de piétons dans l'environnement, et ceci peut être résolu en utilisant une station graphique ou une machine puissante.

On peut citer quelques perspectives à notre travail :

- L'utilisation de modèle d'environnement urbain.
- L'ajout des règles sociales et psychologiques aux comportements de navigation.
- L'utilisation de l'approche de simulation de comportement de groupes des piétons.

Références bibliographiques

- [1] Becheiraz, P. and D. Thalmann, "A Behavioral Animation System for Autonomous Actors personified by Emotion". *Proceedings of the First Workshop on Embodied Conversational Characters (WECC '98)*, Lake Tahoe, California, pp. 12-15 (1998).
- [2] Benchabane.M , ‘‘Une nouvelle approche de modélisation des structures de groupe d’une foule des piétons ‘’, Mémoire de Magister, Université Mohamed Khider de Biskra, DR. Cherif.F, 2011.
- [3] Blumberg, B., M. Downie, Y. Ivanov, M. Berlin, M.P. Johnson and B. Tomlinson, "Integrated Learning for Interactive Synthetic Characters". *Proceedings of the 29th Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques (SIGGRAPH-02)*, San Antonio, Texas USA, pp. 417-426 (2002).
- [4] Cherif, F., "Animation comportementale : Simulation de foules d'humains virtuels". *Thèse de doctorat*, Université Mohamed Khider de Biskra, pp. 131 (2006).
- [5] Daamen.W and S. P. Hoogendoorn. Qualitative results from pedestrian laboratory experiments. In *Pedestrian and evacuation dynamics*, p 121–132, 2003. [22](#), [24](#), [21](#), [23](#)
- [6] Dijkstra, J., H.J.P. Timmermans and A.J. Jessurun, "A Multi-Agent Cellular Automata System for Visualizing Simulated Pedestrian Activity". *Proceedings of the Theoretical and Practical Issues on Cellular Automata. Cellular Automata for research and Industry*, Berlin, pp. 29-36 (2000).
- [7] Donikian, S., "Modélisation, contrôle et animation d’agents virtuels autonomes évoluant dans des environnements informés et structurés". *Habilitation à Diriger Des Recherches*, Université de Rennes 1, pp. 234 (2004).
- [8] Fugger Jr, T., B. Randles, J. Wobrock, A. Stein and W. Whiting, "Pedestrian behavior at signal controlled crosswalks", *SAE ICE*, (2001).
- [9] Ghamougui.R , ‘‘l’approche macroscopique pour générer la formation de ligne ‘’, Thèse de Master , Université Mohamed Khider de Biskra,DR.Chighoub.R,2020.
- [10] Goffman, E., "Relations in Public: Microstudies of the Public Order", *Basic Books, New York, Etats-Unis*, (1971).
- [11] Hanisch, A., J. Toujew, k. Richter and T. Schulze, "'Online simulation of pedestrian flow in public buildings". *Proceedings of the 2003 Winter Simulation Conference*, pp. 1635-1641 (2003).
- [12] Helbing, D., "Traffic and related self-driven many particle systems", *Reviews of Modern Physics*, **Vol. 73**, pp. 1067-1141 (2001).
- [13] Henderson, L.F., "The statistics of crowd fluids", *Nature*, **Vol. 229**, pp. 381–383 (1971).
- Kurdi.O, Crowd Modelling and Simulation, thèse de doctorat, université de Sheffield, 2017

Références bibliographiques

- [14] Lauri, F., "Conception et implantation d'agents situés et incarnés capables de se déplacer en formation". *Mémoire*, INRIA Lorraine, Equipe MAIA, pp. 52 (2000).
- [15] Le Bon .G, (1896). *The Crowd: A Study of the Popular Mind*. [PDF Document]. Retrieved October 20,2014from:
<http://socserv2.socsci.mcmaster.ca/~econ/ugcm/3ll3/lebon/Crowds.pdf>
- [16] Mahdi.R, ‘simulation d’une foule virtuelle par la logique floue ‘, Mémoire de Magister, Université de M’sila, Mr. Chatra.M ,2015.
- [17] Mandar.M, Boulmakoul.A , ‘ La simulation ‘, Faculté des Sciences et Techniques e Mohammedia ,FSTM – Département informatique , Mohammedia Maroc, 2014.
- [18] Milazzo, J.S., N.M. Roupail, J.E. Hummer and D.P. Allen, "The Effect of Pedestrains on the Capacity of Signalized Intersections", *Transportation Research Record*, **Vol.** 1646, pp. 37-46 (1998).
- [19] Newell, A., "Unified theories of Cognition", Vol. Harvard University Press, Cambridge (Mass), pp. 549 (1990).
- [20] North.M.J et al.: Complex adaptive systems modeling with repast symphony
Complex Adaptive Systems Modeling, vol. 1, No.1,1–26. 2013.
- [21] Panzoli, D., "Simulation d'entités artificielles dans les environnements dynamiques virtuels". *Thèse de doctorat*, Université de Toulouse, pp. 144 (2008).
- [22] Pelechano, N., "Modeling realistic high density autonomous agent crowd movement: social forces, communication, roles and psychological influences". *Thèse de doctorat*, pp. 154 (2006).
- [23] Pelletier, P., "Simulation de comportements de foule". *Thèse de doctorat*, Université Laval Québec, pp. 250 (2003).
- [24] Randles, B., T. Fugger Jr, J. Eubanks and P. E, "Investigation and analysis of real life pedestrian collisions", *SAE ICE Detroit Michigan*, (2001).
- [25] Railsback.S.F et al.: Lytinen S.L., Jackson S.K., « Agent-based Simulation Platforms: Review and Development Recommendations», *Simulation*, vol. 82, No.9, 609–623, 2006.
- [26] Reynolds, C.W., "Flocks, Herds, and Schools: A Distributed Behavioral Model". *Proceedings of ACM SIGGRAPH '87 Conference*, Anaheim, California, pp. 25-34 (1987).
- [27] Reynolds, C.W., "Steering Behaviors For Autonomous Characters". *Proceedings of Game Developers Conference 1999*, San Francisco, California, pp. 763-782 (1999).
- [28] Rodriguez, N., O. Heguy, J.-P. Jessel and H. Luga, "Assistance coopérative pour la téléopération". *Proceedings of International Conference in Central Europe on Computer Graphics, Visualization and Computer Vision (WSCG'2001)*, IRIT, pp. II9-II12 (2001).
- [29] Shaobo Liu, Siuming Lo, Jian Ma, and Weili Wang, An Agent-Based Microscopic Pedestrian Flow Simulation Model for Pedestrian Traffic Problems, IEEE TRANSACTIONS ON INTELLIGENT TRANSPORTATION SYSTEMS, VOL. 15, NO. 3, JUNE 2014.

Références bibliographiques

- [30] Sharbini, H.B., "Crowd Modelling Behaviour Based on Modified Microscopic Models in Panic Situation". *Thèse de doctorat*, University of Teknologi Malaysia, pp. 87 (2010).
- [31] Silcock, D., R. Walker and T. Selby, "Pedestrian at risk". *Proceedings of European transport conference*, PTRC, pp. 209-219 (1998).
- [32] Tecchia, C. Loscos, and Y. Chrysanthou. Visualizing crowds in realtime. *Computer Graphics Forum*, 21(4) :753–765, 2002. 11
- [33] Teknomo, K., "Microscopic pedestrian flow characteristics: development of an image processing data collection and simulation model". *Thèse de doctorat*, Université de Tohoku, Japon, pp. 131 (2002).
- [34] Tisue.S et al.: Netlogo: A simple environment for modeling complexity », *International Conference on Complex Systems*, Boston, USA, 16-21 May 2004,16–21.
- [35] Truong.M.T et al.: Combination Framework of BI solution & Multi-agent platform (CFBM) for multi-agent based simulations, *Atelier aide à la Décision à tous les E tages (AIDE 2013)*, Toulouse, France, 29 janvier 2013.
- [36] Wakim, F.C., "Etude de la prédiction de chocs véhicule-piéton". *Thèse de doctorat*, Université Paris XI ORSAY, pp. 161 (2005).

(1) <https://fr.wikipedia.org/wiki/Foule>.