



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
Université Mohamed Khider – BISKRA  
Faculté des Sciences Exactes, des Sciences de la Nature et de la Vie  
**Département d'informatique**

N° d'ordre: IVA 00 /M2/2020

## Rapport

Présenté pour obtenir le diplôme de master académique en

# Informatique

Groupe : **IVA**

---

## Titre

# Approche Microscopique pour modéliser les comportements de groupe

---

Par : **DJOUADI MED CHERIF**

Soutenu le 27/10/2020, devant le jury composé de :

**Mme. CHIGHOUB Rabiaa**

**MAA**

Rapporteur

## Remerciements

# Remerciements

Nous tenons à remercier tout d'abord Dieu qui nous a donné la force et la volonté pour continuer durant ces études et de m'avoir aidé et guidé pour réaliser ce travail.

Mes remerciements et ma reconnaissance à mon encadreur Mme Chighoub Rabiaa pour le temps qu'elle a consacré et pour son aide précieuse qui ont été déterminants dans la réalisation de ce travail. Qu'elle trouve ici l'expression de ma profonde gratitude.

J'adresse mes sincères remerciements au membre du jury :Monsieur ..., Monsieur ... ainsi que mon encadreur de m'avoir honoré de présider le jury de la soutenance et d'avoir bien accepté d'examiner le contenu du travail présent.

Je tiens à remercier Monsieur Abdelhak Saouli pour son aide sa patience ainsi que sa disponibilité.

Un grand merci à mes parents qui m'ont encouragé et aidé et soutenu durant chaque étape de ma vie ainsi que ma sœur et mon frère.

Je remercie aussi mes chers amis qui m'ont soutenus et apporté leur support moral durant ce travail.

# Sommaire

<b>SOMMAIRE</b> .....	<b>1</b>
<b>TABLE DE FIGURE</b> .....	<b>3</b>
<b>INTRODUCTION GENERALE</b> .....	<b>5</b>
<b>CHAPITRE 01: LES MODELES DE SIMULATION DE FOULE HUMAINE</b> .....	<b>7</b>
1. INTRODUCTION.....	7
2. SIMULATION DE LA FOULE.....	7
3. DOMAINE D'APPLICATIONS .....	8
4. LES APPROCHES DE SIMULATION .....	10
4.2. <i>Modèles microscopiques</i> .....	12
4.3. <i>Modèles hybrides</i> .....	16
5. LA COMPARAISON ENTRE LES TROIS MODELES DE SIMULATIONS .....	17
6. CONCLUSION .....	17
<b>CHAPITRE 02: LES COMPORTEMENTS DE GROUPES</b> .....	<b>19</b>
1. INTRODUCTION.....	19
2. DEFINITION D'UN GROUPE HUMAIN.....	19
3. COMPORTEMENTS DE GROUPE .....	20
3.1. <i>La séparation</i> .....	21
3.2. <i>La cohésion</i> .....	21
3.3. <i>L'alignement</i> .....	22
3.4. <i>Suivi de chef</i> .....	22
3.5. <i>Line-abreast</i> .....	23
3.6. <i>V-like</i> .....	23
3.7. <i>River-like</i> .....	23
4. MODELE PROPOSE POUR SIMULER LES COMPORTEMENTS DE GROUPE.....	24
4.1. <i>Grands groupes</i> .....	24
4.2. <i>Petits groupes</i> .....	26
5. CONCLUSION .....	27

<b>CHAPITRE 03: CONCEPTION .....</b>	<b>28</b>
1. INTRODUCTION.....	28
2. L'OBJECTIF .....	28
3. CONCEPTION GLOBALE.....	29
4. CONCEPTION DETAILLEE .....	30
5. CONCLUSION .....	36
<b>CHAPITRE 04: IMPLÉMENTATION ET RÉSULTATS .....</b>	<b>37</b>
1. INTRODUCTION.....	37
2. LES OUTILS UTILISÉS .....	37
2.1. UNITY3D.....	37
2.2. VISUAL C++ .....	39
3. LA MODÉLISATION DE L'ENVIRONNEMENT .....	39
4. CREATION DE PIETON .....	40
5. MODÉLISATION DE PROCESSUS DE NAVIGATION .....	42
6. L'INTERACTION ENTRE LES PIÉTONS.....	44
7. LES COMPORTEMENTS DE GROUPES.....	46
7.1. <i>Evitement de collisions entre les groupes</i> .....	48
7.2. <i>Le comportement de suivi du leader</i> .....	49
7.3. <i>Evitement des obstacles statiques</i> .....	50
7.4. <i>Evitement des obstacles dynamique</i> .....	51
8. CONCLUSION .....	51
<b>CONCLUSION GENERALE .....</b>	<b>53</b>
<b>REFERENCES.....</b>	<b>54</b>

## Table de figure

Figure 1. 1 La boucle d'animation.....	8
Figure 1. 2 Jeu vidéo.....	9
Figure 1. 3 Evacuations d'urgence.....	9
Figure 1. 4. Domaine d'applications (Grands événements) .....	10
Figure 1. 5. classification des modelés de la simulation de foule .....	11
Figure 1. 6 Les trois règles caractérisant le comportement des oiseaux [6] .....	14
Figure 1. 7 Automates cellulaires. (a). Matrice 3*3 des probabilités de la prochaine position d'un piéton (b) Décomposition de l'espace en grille régulière à 2 dimensions .....	14
Figure 1. 8 Modèle de choix discret - a) Concept du comportement de marche des piétons ; b) Représentation de l'ensemble des choix de mouvement du piéton .....	15
Figure 1. 9. Le modèle hybride basé sur les zones.....	16
Figure 2. 1. Groupe humain.....	20
Figure 2. 2 Le comportement de séparation .....	21
Figure 2. 3. Le comportement de cohésion .....	22
Figure 2. 4. Le comportement d'alignement.....	22
Figure 2. 5. Le comportement de suivre le leader.....	23
Figure 2. 6. Les trois formes de groupe .....	24
Figure 2. 7. Modèle de groupe proposé par Park et al. ....	25
Figure 2. 8 Formation d'un sous-groupe de 3 personnes avec le modèle proposé par Moussaïd. ....	26
Figure 3. 1. Architecture globale de notre système.....	30
Figure 3. 2. Architecture détaillée de notre modèle .....	30
Figure 3. 3. Environnement de simulation en 3D .....	31
Figure 3. 4. Le NavMesh d'un environnement de déplacement.....	32
Figure 3. 5. Le modèle de la foule virtuelle .....	33
Figure 3. 6. Boucle d'animation d'un piéton virtuel.....	34
Figure 3. 7. cycle de simulation de groupe .....	35
Figure 3. 8. Le modèle de Formations des groupes .....	36
Figure 4. 1. L'environnement de développement Unity .....	38
Figure 4. 2. Script de base C#.....	38
Figure 4. 3. Environnement de simulation (labyrinthe) en 3D .....	39
Figure 4. 4. La décomposition de notre scène (triangulation).....	40
Figure 4. 5. Importation des personnages virtuels avec Mixamo .....	41
Figure 4. 6 Modèles de personnages dans la scène .....	42
Figure 4. 7 Le piéton est placé dans une position aléatoire, il est caractérisé par un but spécifique .....	42
Figure 4. 8. Les chemins calculés pour chaque piéton .....	43
Figure 4. 9 Les piétons naviguent vers les buts .....	43
Figure 4. 10 Le groupe se déplace vers son but.....	44
Figure 4. 11. Les Formations de groupe.....	47
Figure 4. 12. Evitement de collisions entre les deux groupes de formation V-like (A et B) et Line-Abreast (C et D). ....	48
Figure 4. 13. Evitement de collisions entre les deux groupes .....	48
Figure 4. 14 Le comportement : suivi du leader .....	49
Figure 4. 15. Capteur d'image représente les obstacles statiques en 3D .....	50
Figure 4. 16 Le comportement d'évitement d'obstacle statique où le groupe garde sa formation initiale .....	50

*Table de figure*

*Figure 4. 17. Exemple d'interaction entre deux piétons ..... 51*

## **Introduction générale**

La simulation comportementale de piétons virtuels vise à simuler sur ordinateur des comportements permettant à des entités autonomes d'évoluer dans un environnement virtuel peuplé d'obstacles statiques et dynamiques [15]. Ces entités perçoivent leur environnement, 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.

La simulation de foules de piétons constitue un enjeu majeur dans de nombreuses applications et connaît aujourd'hui un regain d'intérêt certain. Elle a été fortement utilisée dans la sécurité, le génie civil, l'urbanisme, ...etc. En génie civil par exemple, on s'intéresse aux caractéristiques de flux de foules des piétons afin d'assurer une évacuation sécurisée dans des situations d'urgence. Dans l'urbanisme et la conception des bâtiments, la simulation des foules des piétons est utilisée pour tester la fiabilité des équipements publics et des conceptions architecturales. La simulation de foule des piétons trouve aussi d'autre application dans l'industrie de divertissement tel que les jeux vidéo [16].

L'étude des comportements des groupes dans les foules virtuelles est un domaine très important, puisque le regroupement est un phénomène habituel dans la vie quotidienne.

L'objectif de ce travail est de proposer un modèle microscopique de mouvement de foule capable, d'une part de gérer les interactions piéton-piéton et piéton-obstacle pour simuler des situations des comportements de groupe, et d'autre part de gérer le processus de planification dans le cas de gérer la circulation de piétons dans un environnement virtuel complexe.

Pour gérer cette situation, Il est nécessaire de résoudre les problèmes suivants:

- ✓ Comment rassembler les entités virtuelles pour former un groupe?
- ✓ Comment représenter l'environnement pour extraire l'espace navigable?
- ✓ Comment trouver le chemin optimal de déplacement ?
- ✓ Comment résoudre le problème d'évitement de la collision avec les obstacles statique, est les autres entités virtuelles ?

## *Introduction générale*

Ce mémoire est divisé en quatre chapitres:

- ✓ Le premier chapitre présente les modèles de simulation de foule qui ont été discuté dans la littérature.
- ✓ Le deuxième chapitre cite les modèles proposés pour les comportements de groupes.
- ✓ Le troisième chapitre se focalise sur la conception de notre modèle, l'architecture ainsi que le détail de ces modules est présenté.
- ✓ Le dernier chapitre présente l'implémentation et la validation des résultats de notre système de simulation.
- ✓ Enfin nous terminerons notre étude par une conclusion générale et nous mentionnerons aussi les perspectives de notre travail.

# Chapitre 01: Les modèles de simulation de foule humaine

## 1. Introduction

La simulation de foules d'humains virtuels est une discipline récente faisant partie de l'animation et astreinte à la recherche des comportements pour des entités vivantes qu'elles soient humaines ou animales qui peuplent les environnements virtuels. Elle a pour but de générer facilement les mouvements, les actions ainsi que les comportements d'un grand nombre d'individus.

Ces individus doivent être avant tout réalistes et accomplir de manière autonome des objectifs bien définis, où leur comportement peut être scripté ou soumis à un processus décisionnel afin de réaliser des tâches individuelles ou collectives. Dans ce chapitre, on présentera la définition de simulation de la foule après domaine d'applications, définition de la foule, ensuite types de foules et les comportements, enfin les approches de simulation.

## 2. Simulation de la foule

La simulation de foule est le procédé de simulation du mouvement d'un grand nombre de personnages, appelés piétons, dans un environnement virtuel.

L'idée globale derrière la simulation consiste à tenter de faire reproduire par des entités virtuelles les mécanismes décisionnels qui mènent à l'action, en prenant en compte un objectif et les contraintes imposées par leur environnement [12].

Le terme de piéton désigne une entité virtuelle autonome, incarnée par une représentation graphique dans un environnement virtuel.

Du point de vue de l'animation comportementale, le comportement d'un piéton est un processus de prise de décision complexe basé sur définir et modéliser ses interactions avec l'environnement (figure 1.1), celles-ci sont synthétisées à travers une boucle perception décision action [15]. Cette boucle consiste en trois phases :

- ✓ La phase de perception consiste à extraire des états de l'environnement et les transformer en valeurs exploitables. Pour ce faire, l'agent est muni de capteurs plus ou moins spécialisés dans l'extraction de caractéristiques perceptives particulières.
- ✓ La phase de décision a pour but de prendre en compte la perception, et les éventuelles informations internes à l'agent, afin de proposer une action.
- ✓ La phase d'action est prise en charge par des effecteurs. Ils agissent dans l'environnement en traduisant chaque action décidée par le processus de décision en un changement d'état dans l'environnement.

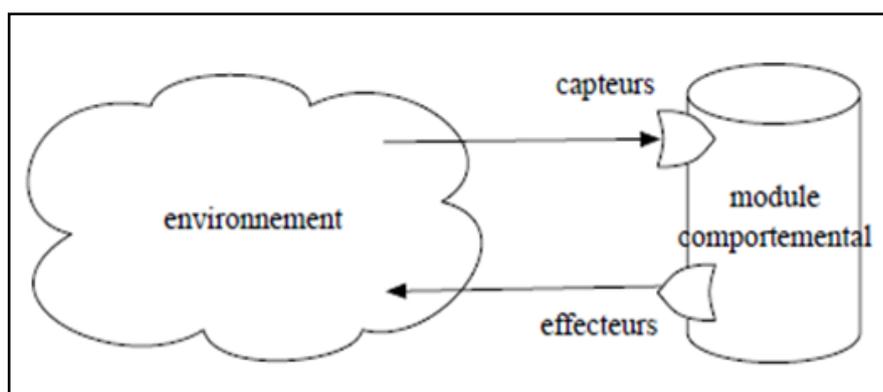


Figure 1. 1 La boucle d'animation [15]

### 3. Domaine d'applications

Animer un grand nombre de personnages simultanément et de manière cohérente répond aux besoins d'un grand nombre de secteurs, citons par exemple le cinéma (pour éviter d'engager des milliers de figurants), le jeu vidéo (peupler les mondes virtuels) mais aussi l'urbanisme (simuler les flux de piétons pour mieux adapter le mobilier urbain ou les transports en commun), la sécurité (simuler l'évacuation d'un stade) ou encore le domaine militaire, il est spécialement utilisé dans les domaines suivants:

- ✓ **Les jeux:** Les foules sont également intégrées dans les jeux vidéos pour ajouter la vie et enrichir le contenu. Les jeux vidéo ont besoin de simuler une activité de vie dense pour immerger le joueur. Peu de systèmes de simulation de foule conçu pour le divertissement permettent la génération de foules dans des situations de vie normale et beaucoup moins encore avec la simulation des comportements des piétons [12]



Figure 1. 2 Jeu vidéo [12]

- ✓ **Evacuations d'urgence:** Il est possible d'améliorer et d'optimiser la configuration des bâtiments (hôpitaux, aéroports, etc.) ou des navires à passagers (navires, avions, etc.) afin qu'ils puissent être évacués rapidement, même dans des conditions difficiles.

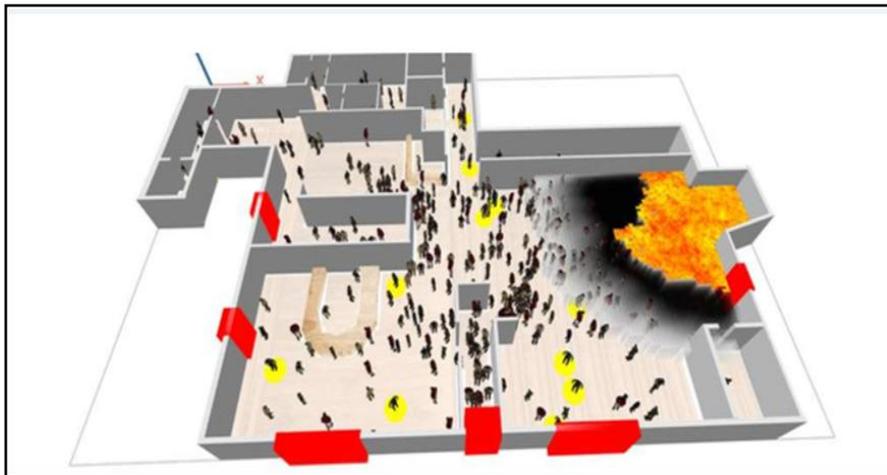


Figure 1. 3 Evacuations d'urgence

- ✓ **Grands événements:** Les grands événements comme les rassemblements, les marches, les concerts, les concerts de rock et le football 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.

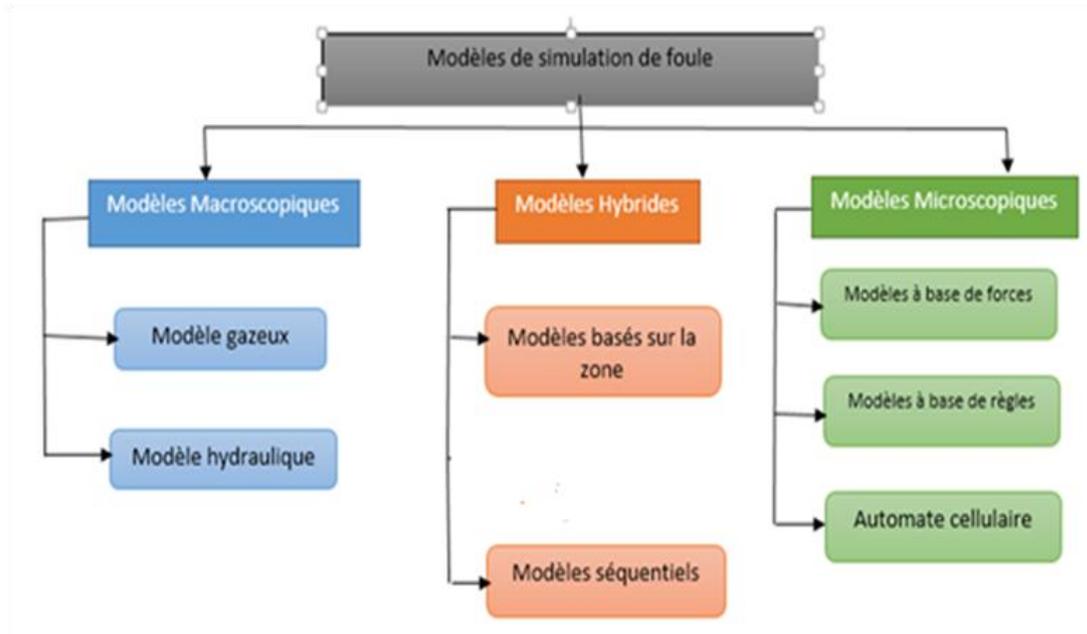


**Figure 1. 4.** Domaine d'applications (Grands événements)

- ✓ **Grandes installations:** De plus en plus de grandes installations (centres commerciaux, parcs d'attractions, stades, etc.) sont en cours de construction et sont conçues pour accueillir une foule nombreuse. Cela peut entraîner une foule dense qui crée une pression élevée qui constitue une menace pour la santé des personnes. Par conséquent, la planification détaillée des allées et la gestion des foules sont essentielles assurer un environnement sûr et confortable aux grandes foules.

#### 4. Les approches de simulation

Plusieurs modèles de simulation ont été proposés pour prédire le comportement de piétons dans diverses situations normales ou de panique. L'état de l'art de la modélisation des comportements des piétons encapsule deux principales approches: le modèle microscopique et le modèle macroscopique. Les modèles appartenant à la première catégorie décrivent le comportement des piétons en terme d'espace-temps, tels que le modèle de force social et les modèles basés sur les automates cellulaires. Les modèles appartenant à la seconde catégorie décrivent les piétons en comparaison avec les propriétés des fluides traitant les individus de manière uniforme [14].



**Figure 1. 5.** classification des modelés de la simulation de foule

#### 4.1. Modèles macroscopiques

Dans un modèle macroscopique, les caractéristiques comportementales d'une entité virtuelle (en général sa position et sa vitesse) sont déterminées suivant une loi (en général issue de la physique) qui régit la foule qu'elles composent. En d'autres termes, elles sont vues comme des points matériels qui constituent un flux.

Ces modèles sont généralement dédiés aux simulations d'évacuation de bâtiments et à la mise en place des conditions de sécurité qui sont liées à l'évacuation. Ils ont aussi pour but de simuler de manière réaliste les phénomènes macroscopiques sans que l'individu ne soit représenté dans le modèle [14].

##### 4.1.1. Le modèle gazeux

L.F.Henderson [11] propose dès 1971 d'assimiler les déplacements de personnes dans des conditions de faible densité à ceux de molécules de gaz. En se basant sur la théorie cinétique des gaz de Maxwell-Boltzmann, il fait le parallèle entre la densité des piétons et celle des particules d'un gaz, en assimilant leur différence d'états (arrêt, marche, course) aux différences d'énergie des gaz. Ce modèle s'appuie sur deux hypothèses concernant les piétons, en laissant de côté toutes règles sociales (comme les affinités liant certaines personnes) :

- ✓ Leurs positions et vitesses sont indépendantes les unes des autres ;

- ✓ Leur vitesse est indépendante de leur position.

Ces premiers constats, même s'ils peuvent paraître évidents aujourd'hui, sont à la base de toute simulation d'humanoïdes virtuels.

#### 4.1.2. Le modèle hydraulique

Un modèle hydraulique a été proposé par J.Archea [9] pour simuler des foules de forte densité. Il assimile ici le mouvement des personnes au travers de couloirs, escaliers, et portes, à celui de l'eau au travers de tuyaux, vannes, ou autres.

La simulation de l'évacuation du bâtiment se fait en deux étapes:

1. Initialisation du mouvement de l'ensemble des individus recevant simultanément un message d'alerte (ouverture des vannes)
2. Simulation de l'évacuation (écoulement de l'eau dû à la force de gravitation).

Ce modèle se base sur les hypothèses suivantes :

- ✓ Prise de conscience et décision de l'évacuation immédiate et simultanée de tous les individus
- ✓ Répartition uniforme des occupants
- ✓ Débits uniformes
- ✓ Flux unidirectionnels
- ✓ Trajets prédéfinis.

#### 4.2. Modèles microscopiques

Contrairement aux modèles macroscopiques, l'approche microscopique permet des simulations dans lesquelles chaque entité est gérée individuellement.

Un individu aura donc ici son fonctionnement propre qui prend en compte son environnement dont les entités (agents ou objets) autour de lui ainsi que

Les modèles microscopiques sont plus intéressants du point de vue d'animer les foules d'agents virtuelles avec des comportements réalistes et autonomes [14].

##### 4.2.1. Modèle de force sociale

Le modèle de force sociale [6] repose sur l'introduction de forces décrivant le mouvement des piétons. Ce modèle se base sur les trois hypothèses suivantes :

- ✓ Chaque piéton dispose d'une vitesse de marche qu'il adapte en respectant une valeur de confort ;
- ✓ Un piéton maintient une certaine distance avec les autres ; et
- ✓ Un piéton cherche à atteindre un point particulier de l'espace.

Ces trois hypothèses sont ensuite formalisées sous forme d'une combinaison de forces pour définir le prochain mouvement du piéton.

Pour déterminer la prochaine position d'un piéton, une vitesse à un instant  $t$  est calculée suivant l'équation de la motivation totale  $F_i(t)$  d'un piéton qui est la somme des termes d'accélération, effets d'interactions des autres piétons et des obstacles:

$$F_i(t) = m_i \frac{v_i^0(t)e_i^0(t) - v_i(t)}{\tau_i} + \sum_{j(\neq i)} f_{ij} + \sum_W f_{iW}$$

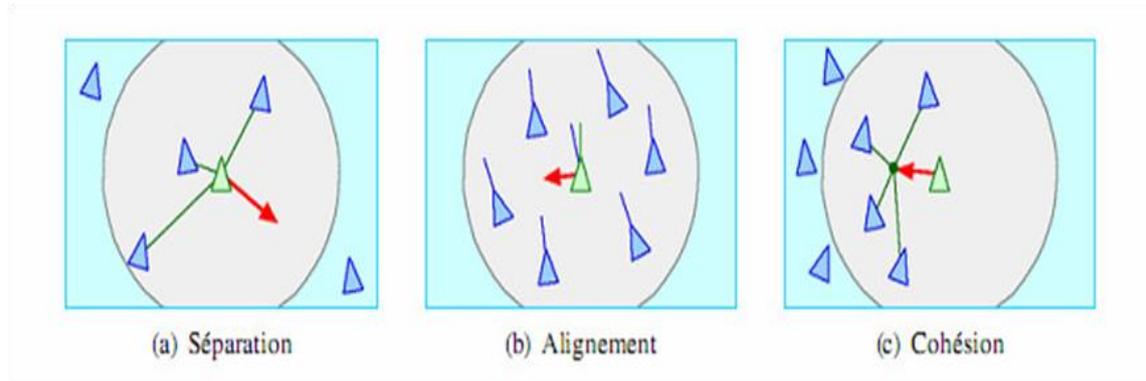
où  $m_i$  représente la masse d'un piéton  $i$ ,  $\frac{dv_i}{dt}$  son accélération,  $v_i^0(t)$  la vitesse qu'il souhaite atteindre dans une direction  $e_i^0(t)$ ,  $v_i(t)$  sa vitesse actuelle,  $\tau_i$  un paramètre temporel,  $f_{ij}$  les forces d'interaction auquel il est soumis avec les autres piétons,  $f_{iW}$  les forces d'interactions auquel il est soumis avec les murs (qui empêchent une collision entre le piéton et les murs).

#### 4.2.2. Les modèles à base règles

Le déplacement de chaque individu est modélisé par des règles de comportement de la forme « si condition alors action ».

Le modèle "A base de règle" introduit par Craig Reynolds [4] qui a montré qu'on peut obtenir un troupeau, une nuée ou un essaim visuellement très réalistes à partir de entités au comportement individuel très simple. Ses boids sont des agents autonomes représentant des oiseaux dont le comportement n'est défini que par trois règles :

- ✓ **Séparation** : afin d'éviter d'éventuelles collision avec ses voisins.
- ✓ **Alignement** : afin de réguler sa vitesse par rapport à l'ensemble du groupe.
- ✓ **Cohésion** : afin de rester proche de ses voisins.



**Figure 1. 6 Les trois règles caractérisant le comportement des oiseaux [6]**

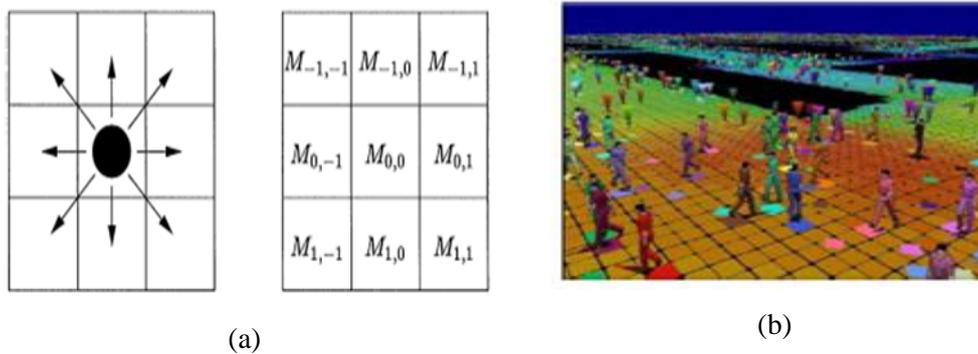
#### 4.2.3. L'approche d'automates cellulaires

L'espace de simulation est représenté par une grille de cellules uniformes, chaque cellule à un état locale qui dépend d'un ensemble de règles décrit le comportement des piétons [3].

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  $t$ .

Dans le cas stochastique, une transition d'état d'une cellule est effectuée en tenant compte des fonctions probabilistes additionnelles. Les automates cellulaires stochastiques conduisent aux résultats réalistes des processus simulés.

Les automates cellulaires offrent une grande rapidité de calculs ainsi qu'une grande facilité d'implémentation. Toutefois, ils limitent les mouvements des piétons, introduisent des cas de blocages (car les individus ne peuvent se déplacer que lorsque la case adjacente est libre) et ne permettent pas le contact entre piétons.



**Figure 1. 7 Automates cellulaires. (a). Matrice 3\*3 des probabilités de la prochaine position d'un piéton (b) Décomposition de l'espace en grille régulière à 2 dimensions [3]**

#### 4.2.4. Modèles de choix discrets

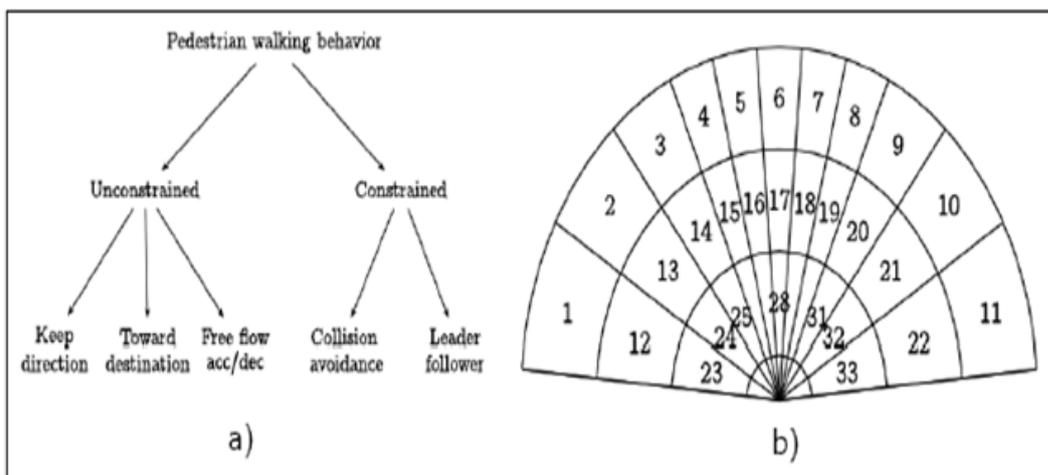
Le modèle de choix discrets [16], qui est un mélange des modèles de forces sociales et d'automates cellulaires, il consiste à représenter l'espace en utilisant une discrétisation dynamique basée agent pour avoir une bonne flexibilité, c'est à dire, l'espace est discrétisé en angle et distance par rapport à l'individu.

Le terme choix discret provient d'une discrétisation du comportement des piétons en un ensemble de choix où l'alternative avec la plus haute utilité est sélectionnée.

Cette approche est reprise par Robin et al. [19] qui repose sur l'identification de deux types de comportements: contraint et non contraint (Figure 1.8.a). Un comportement non contraint est un comportement qui est indépendant des autres piétons, alors il se réfèrent à un maintien de direction, l'atteinte d'un objectif ou le fait d'avoir une accélération libre.

Les comportements contraints sont représentés par un modèle de suivi de leader ou un modèle d'évitement de collision. Les comportements non contraints se réfèrent à un maintien de direction, l'atteinte d'un objectif ou le fait d'avoir une accélération libre.

L'avantage du modèle est qu'il peut simuler beaucoup de situations différentes. Ces inconvénients sont le trop grand nombre de paramètres identifiés et le fait que le déplacement du piéton se réalise à l'aide d'un champ de vision discrétisé qui restreint son mouvement (Figure 1.8.b).



**Figure 1. 8** Modèle de choix discret - a) Concept du comportement de marche des piétons ; b) Représentation de l'ensemble des choix de mouvement du piéton [19]

### 4.3. Modèles hybrides

Plusieurs travaux proposent des approches hybrides afin de composer les deux approches de simulation dans un même modèle [10].

#### 4.3.1. Modèles basés sur la zone

Dans cette approche, l'espace de simulation est divisé en plusieurs zones, où chaque zone est simulée soit par un modèle macroscopique ou par un modèle microscopique.

La zone de simulation par l'approche macroscopique fournit un flux global de foule tandis que la zone simulée avec un modèle microscopique offre une observation des comportements au niveau individuel.

La combinaison de ces deux techniques pour un modèle hybride offre plus d'efficacité de simulation par rapport à la méthode microscopique et améliore également la qualité de la simulation par rapport au modèle macroscopique [10].

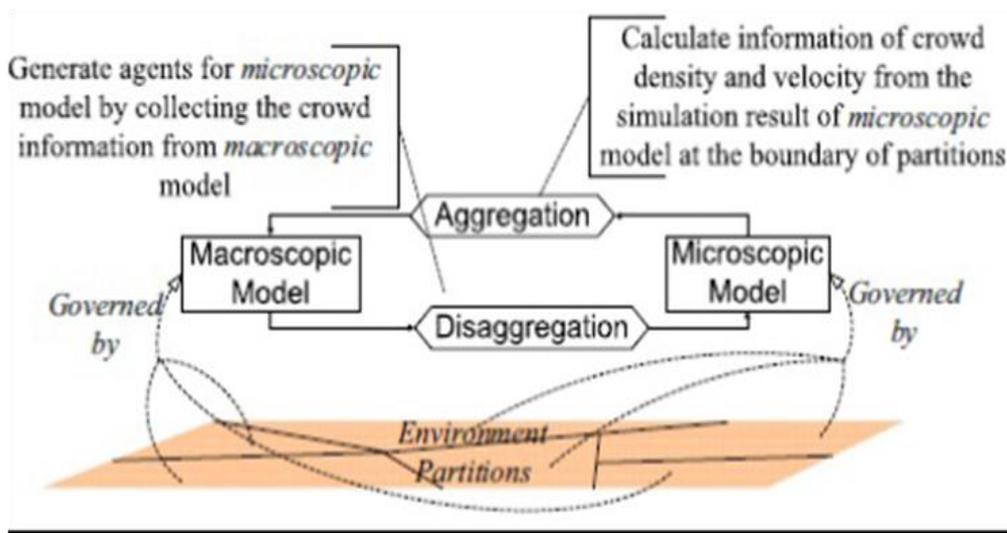


Figure 1. 9. Le modèle hybride basé sur les zones [10]

#### 4.3.2. Modèles séquentiels

Un autre modèle hybride est développé dans [10], il intègre également les deux approches macroscopique et microscopique dans un seul environnement de simulation pour gérer les comportements d'une foule virtuelle. Ce modèle exécute les deux modèles de manière séquentielle où une méthode de synchronisation est nécessaire pour transférer l'état de foule entre ces deux modèles.

Tout d'abord, il exécute un modèle macroscopique pour guider le déplacement de la foule, puis il applique un modèle microscopique à la même foule pour observer les comportements individuels.

Le modèle macroscopique a été utilisé pour générer le mouvement de foule lorsqu'il était stable, si un événement perturbe le déplacement normal de la foule, la simulation se passe automatiquement au micro modèle pour observer le comportement individuel de chaque piéton.

## 5. La comparaison entre les trois modèles de simulations

Nous avons établis ci-dessous un tableau de comparaison des trois modèles de simulations, Macroscopiques, Microscopiques et Hybride qui regroupe chacune leur propres caractéristiques, concernant par exemple la consommation du temps de ressources de calcul, la simulation ainsi que le but.

<b>Macroscopique</b>	<b>Microscopique</b>	<b>Hybrides</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>➤ Simule un grand nombre de piétons sans qu'il ne s'intéresse à leur comportement individuel.</li><li>➤ On les mêmes les motivations et mêmes buts</li><li>➤ Faible consommation en termes de ressources de calcul.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>➤ Simulation des lesquelles chaque entité est gérée individuellement</li><li>➤ Chaque individu a son propre fonctionnement.</li><li>➤ Consommation élevée en termes de ressources de calcul.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>➤ Combine les avantages des deux types de représentation.</li><li>➤ Les régions ayant un grand intérêt pour l'observateur, utilisent des modèles microscopique et les régions d'un intérêt moindre utilisent des modèles macroscopiques</li><li>➤ Moins couteux en termes de ressource de calcul.</li></ul>

*Table 1 : la table de comparaison entre les modèles de simulation*

## 6. Conclusion

Nous avons exposé dans ce chapitre les trois types de simulations. Les modèles macroscopiques se focalisent sur le système en son totalité (Caractéristiques du flux plutôt

que différents piétons), tandis que les modèles microscopiques qui étudient le comportement et la décision de différents piétons et de leurs interactions avec d'autres piétons dans la foule. et modèles hybrides qui combinent les avantages des deux approches classiques pour simuler des foules.

# Chapitre 02: Les comportements de groupes

## 1. Introduction

Le groupement des humains est un phénomène habituel dans notre vie quotidienne, il joue un rôle important dans le comportement de la foule. En effet, la foule de piétons contient des groupes plus que des individus isolés.

En effet, pour explorer l'effet de groupement sur les comportements de la foule, il est nécessaire d'étudier différents aspects des groupes sociaux, tels que les relations entre les membres de groupe, le contexte dont les groupes fonctionnent, la capacité physique et psychologique, la taille et la densité de groupe.

Il est facile d'identifier un groupe de personnes à travers les interactions et les caractéristiques des membres telles que l'apparence, le sexe, l'âge et les échanges.

Les modèles examinés dans ce chapitre sont principalement créés par des approches de modélisation microscopique telles que la force sociale, les automates cellulaires et la méthode basée sur les agents.

Dans ce chapitre, on présentera Définition de groupes après Les comportements de groupes, et Les modèles proposés pour les comportements de groupes, ensuite Comparaison, enfin la conclusion.

## 2. Définition d'un groupe humain

Dans la littérature, il existe plusieurs définitions de groupe

Dans [16], les groupes sont des ensembles d'agents explicitement circonscrits qui partagent de l'information et/ou communiquent. Ses membres doivent coopérer pour donner au groupe le comportement requis (pour respecter le scénario) (Figure 2.1). Généralement, on trouve quelques aspects fondamentaux caractérisant un groupe:

- ✓ Les différents rôles qu'y jouent les membres caractérisent totalement le groupe.
- ✓ La notion de cohésion d'un groupe, soit la « force » qui pousse les membres à demeurer ensemble.



Figure 2. 1. Groupe humain [15]

Un groupe est défini [15] comme une collection physique d'individus suivant le même chemin, mais qui peuvent ou ne peuvent pas faire partie du même groupe social; tandis qu'un "sous-groupe" est défini comme des personnes appartenant au même "groupe" physique qui veulent rester ensemble.

Le groupe social n'est pas une simple collection ou un agrégat des individus, il a également des caractéristiques partagées par ses membres tel que : la distance spatiale entre les membres (la distance euclidienne), le but et les intérêts semblables (visiter la même exposition), l'origine sociale (la socialité, l'émotion).

Des études ont révélé que les sous-groupes les plus petits comme ceux d'amis ou de membres d'une famille constituent la majorité de la population d'une foule. Les premières observations ont montré que les groupes composés de deux à quatre membres sont les plus fréquents, tandis que les groupes de la taille de cinq personnes et plus, sont rares [16].

### 3. Comportements de groupe

Les comportements de groupe sont des comportements simples et spécifiques qui se font par les membres de groupe, la combinaison de ses comportements peut générer un nombre de comportements complexe appelés comportements émergents.

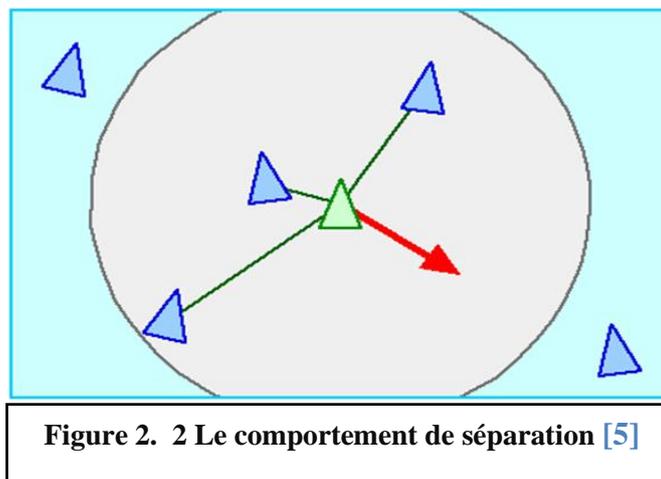
Beaucoup de piétons font partie d'un groupe, ils marchent vers leur but communs, ils adaptent leur vitesse aux autres membres, attend l'un de l'autre, et peuvent se séparés dans les endroits serrés pour éviter des collisions, mais se regroupent après.

Donc l'utilisation des groupes peut être un moyen de conserver le temps de calcul nécessaire pour la planification de chemin en plus des règles de navigation assurant l'évitement de collision, nous considérons des règles pour assurer la gestion du groupe.

De nombreux travaux présentent les comportements de groupes observés dans le trafic piétonnier. Quelques uns de ces comportements sont retrouvés par certains modèles de foule. Ces comportements sont :

### 3.1. La séparation

Le comportement de séparation donne à l'entité virtuelle la capacité de maintenir une certaine distance de séparation avec des autres individus qui sont proches de lui. Cela peut être employé pour empêcher les acteurs de s'entasser ensemble [5].



### 3.2. La cohésion

Le comportement de cohésion [5] 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 entités voisines (figure 2.3). La direction de la cohésion peut être calculée en déterminant tous les individus dans le voisinage local et en calculant 'la position moyenne' (ou centre de gravité) des individus voisins. La direction de la force peut ainsi être appliquée dans la direction de 'la position moyenne'.

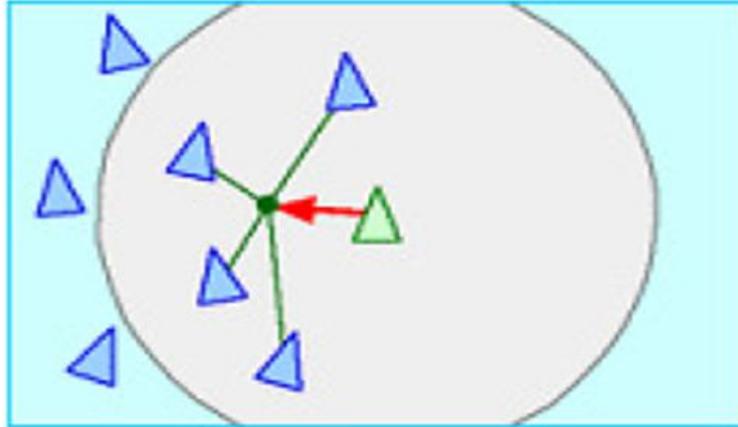


Figure 2. 3. Le comportement de cohésion [5]

### 3.3. L'alignement

Le comportement d'alignement [5] donne à l'acteur la capacité de s'aligner sur d'autres acteurs voisins (figure 2.4). La direction d'alignement peut être calculée en déterminant tous les acteurs dans le voisinage local, 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.

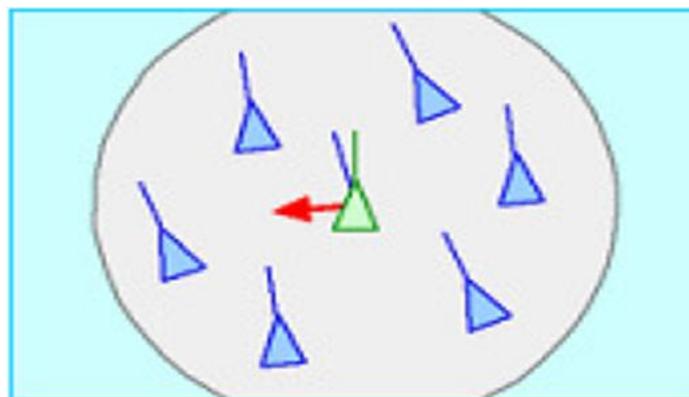


Figure 2. 4. Le comportement d'alignement [5]

### 3.4. Suivi de chef

Le comportement de suivi de chef [5] est un comportement de groupe qui est provoqué par 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. (figure 2.5).

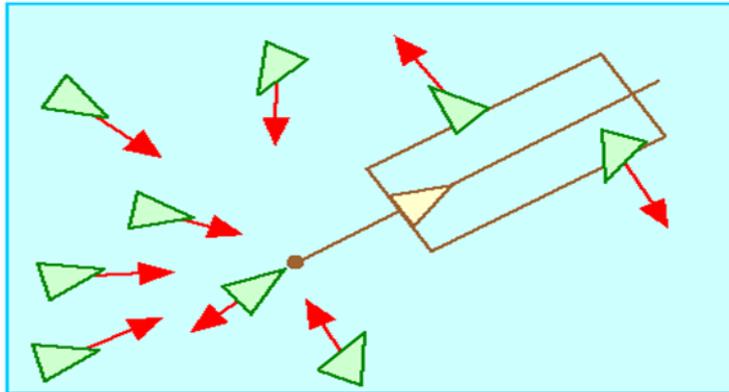


Figure 2. 5. Le comportement de suivre le leader [5]

### 3.5. Line-abreast

Moussaïd et al. [13] ont étudié l'organisation spatiale des groupes de piétons marchants dans deux densités de population différentes. Il a été suggéré qu'à faible densité, les personnes du même groupe marchent dans une formation horizontale qui leur permet de communiquer facilement avec les autres membres du groupe (figure 2.6 (a)).

### 3.6. V-like

Dans les situations où la densité de foule est modérée, la formation de ligne est difficile à maintenir sans interférer avec les piétons en dehors du groupe. Par conséquent, la structure du groupe linéaire se plie au milieu et forme une structure de «V». Moussaïd et al. [163] ont souligné que cette flexion est vers l'avant selon la direction de déplacement au lieu de vers l'arrière, ce qui facilite la communication sociale entre les membres du groupe (figure 2.6 (b)).

### 3.7. River-like

Dans les situations de foule à haute densité, les membres du groupe se déplacent et s'organisent les uns derrière les autres et ils forment une formation de type «rivière» [12] (Figure 2.6 (c)).

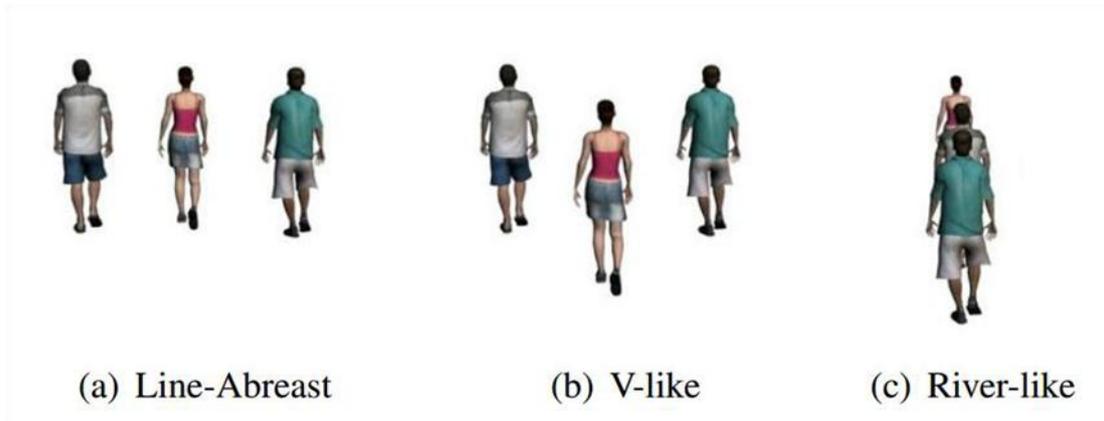


Figure 2. 6. Les trois formes de groupe [13]

## 4. Modèle proposé pour simuler les comportements de groupe

### 4.1. Grands groupes

Musse et Thalmann [16] proposent viCrowd, un modèle de foule dont le comportement est défini à trois niveaux (individuel, groupe et foule) qui permet de modéliser de larges foules dans lesquelles les individus présentent des comportements crédibles. Cependant, ces comportements sont réactifs et ne permettent pas d'interactions fines avec l'utilisateur. De plus, ils ne prennent pas en compte les émotions et la personnalité.

Kamphuis et Overmars [1] proposent une technique de modélisation pour planifier le mouvement des groupes virtuels qui répond spécifiquement à la nécessité de fournir un chemin optimal s'il en existe un, tout en maintenant la cohérence du groupe. Ils utilisent un algorithme de multiple phase.

Tout d'abord, un chemin est planifié pour un rectangle déformable, représentant la forme du groupe. Deuxièmement, le mouvement interne des unités à l'intérieur de ce rectangle déformable est calculé à l'aide de champs de potentiel social. Troisièmement, les chemins globaux et locaux sont combinés pour donner le mouvement total des unités. Si la technique garantit la cohérence, elle manque d'exhaustivité. L'approche génère également un comportement non naturel lorsqu'un groupe entre ou sort d'un passage étroit.

Kimmel et al. [2] introduisent une méthode basée sur la vitesse de déplacement pour maintenir la cohérence du groupe. Leur travail est une extension aux approches existantes de vitesse d'obstacle (VO), ils améliorent ces méthodes d'évitement de collision local afin de prendre en compte le comportement des équipes.

Une limitation principale est que les agents se déplacent à une vitesse constante tout au long de la simulation. En outre, cette méthode tente de maintenir une formation unique pour chaque groupe sur la base d'un graphe de proximité. Ce n'est cependant pas le cas pour les groupes de piétons réels où il a été observé qu'un groupe bascule entre les formations en fonction de son contexte social et spatial.

Le modèle proposé par [17] aborde à la fois les tâches de navigation de haut niveau (choix d'itinéraire, planification des activités) et de navigation de bas niveau (pilotage, réaction) pour simuler l'interaction de groupe social.

Le premier aspect est géré par l'incorporant la théorie CG () dans le modèle piéton, et le dernier est dérivé en utilisant un modèle d'obstacle de vitesse (VO)

Les individus s'engagent dans une activité conjointe lorsqu'ils réagissent en coordination avec les autres pour poursuivre un objectif commun. Pour cela, un chef est sélectionné et affecté à chaque groupe et des stratégies de coordination suivant la théorie du terrain commun doivent être définir à la fois au niveau de la micro et de la macro-simulation.

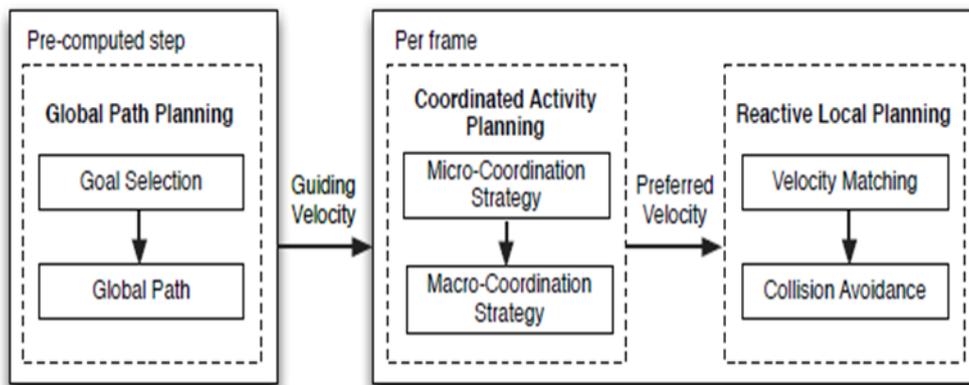


Figure 2. 7. Modèle de groupe proposé par Park et al [17].

Qui et Hu [7] proposent une architecture pour modéliser les structures dynamiques de groupes de piétons en considérant à la fois les relations inter-groupes et intra-groupes. Chaque groupe possède un leader qui est le seul à pouvoir être influencé par des individus d'autres groupes. Les relations entre agents sont stockées à l'intérieur de deux types de matrices: celles gérant les relations à l'intérieur d'un groupe et celles gérant les relations entre les différents groupes.

L'approche proposée repose sur deux concepts pour permettre aux individus de quitter dynamiquement un groupe de piétons et d'en rejoindre un autre en fonction de leur contexte spatial et social. Le premier concept est la possibilité d'individu de choisir un groupe

spécifique à rejoindre, et le deuxième concept est la permission au individu de préciser un membre du groupe à suivre (sélection individuelle).

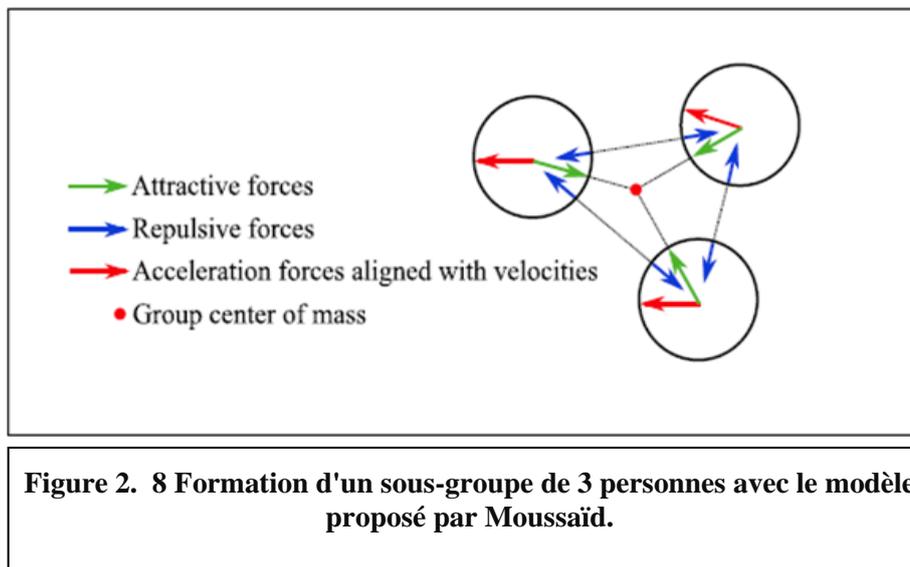
## 4.2. Petits groupes

Moussaïd et al [13] proposent un modèle mathématique qui représente une évolution du modèle initial de force sociale de Helbing [6]. A l'instar du modèle de Helbing, le modèle décrit les mouvements des individus par une combinaison de forces à savoir: une force de déplacement qui définit le déplacement d'un individu selon une certaine direction et une certaine vitesse, une force de répulsion qui décrit l'effet de l'interaction avec un individu j et une force de répulsion qui définit les interactions de l'individu avec des obstacles fixes de l'environnement.

Ils ont aussi introduit dans leur modèle une nouvelle force sociale pour décrire le comportement d'un individu i par rapport à un groupe d'individus.

La force de formation du sous-groupe  $f_i^{sgr}(t)$  appliquée au piéton i est définie comme la somme de trois forces (Figure 2.8) :

$$f_i^{sgr}(t) = f_i^{vis}(t) + f_i^{att}(t) + f_i^{rep}(t) \quad (2.1)$$



**Figure 2. 8 Formation d'un sous-groupe de 3 personnes avec le modèle proposé par Moussaïd.**

Le premier terme  $f_i^{vis}(t)$  de l'équation (2.1) donne de l'importance au champ visuel. En effet, lorsqu'on marche en sous-groupe, on a tendance à garder les autres membres dans son champ de vision pour faciliter l'échange de paroles.

Le piéton essaie de garder une certaine distance par rapport au centre de masse du sous-groupe. Cette distance est calculée par la force attractive qui est définie:

$$f_i^{att}(t) = q_A \beta_2 m_i e_{ic}$$

où  $\beta_2$  est un paramètre décrivant l'amplitude de la force attractive;  $e_{ic}$  est le vecteur directeur unitaire dirigé du piéton  $i$  vers le centre de masse. Le paramètre  $q_A = 1$  si la distance entre le piéton et le centre de masse du sous-groupe dépasse une distance critique, sinon  $q_A = 0$ .

Enfin, le dernier terme est une force de répulsion qui empêche les piétons de trop se rapprocher les uns des autres. Il est défini par:

$$f_i^{rep}(t) = \sum_k q_R \beta_3 m_i e_{ik}$$

où  $\beta_3$  est un paramètre décrivant l'amplitude de la force répulsive;  $e_{ik}$  est le vecteur directeur unitaire dirigé du piéton  $i$  vers le membre  $k$  du sous-groupe. Le paramètre  $q_R = 1$  lorsque la distance entre les piétons est inférieure à une distance de sécurité  $d_0$ , sinon  $q_R = 0$ .

Sarmady, Haron et Talib [18] ont présenté un modèle de simulation de foule qui intègre le principe de moindre effort dans un modèle d'automate cellulaire afin d'envisager la navigation des groupes. Dans ce modèle un leader est choisi pour chaque groupe et, un facteur de dépendance est introduit, pour décrire la motivation d'autre membre d'un groupe de suivre le chemin de son leader afin d'atteindre sa destination. La distance d'une cellule voisine du leader est utilisée comme une métrique pour calculer la préférence d'un suiveur pour se déplacer vers cette cellule afin de maintenir la cohérence du groupe.

## 5. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons détaillé les modèles du comportement de groupe social. Nous avons commencé par présenter une collection de comportements collectifs simples et importants dans la circulation des groupes de piétons.

Ensuite, nous avons présenté des modèles développés pour simuler de petits groupes ou de grands groupes dans le cadre à réaliser une simulation en temps réels

# Chapitre 03: Conception

## 1. Introduction

Dans les deux chapitres précédents nous avons présenter les deux approches principaux pour la simulation des comportements des foules de piétons qui sont l 'approche macroscopique et l'approche microscopique: l'approche macroscopique est la première approche utilisée pour modéliser les mouvements de personnes, et l'approche microscopique consiste à identifier les interactions entre chaque individu et son voisinage pour ensuite influencer le comportement de l'individu. Ces modèles se différencient par leur manière de prendre en compte les informations provenant du voisinage d'un piéton et par la réaction de l'individu compte tenu de ces informations.

Ce chapitre présente un modèle de déplacement de piétons dans un environnement qui intègre le comportement de groupe.

Pour pouvoir construire un tel système, on doit passer par plusieurs étapes qui sont définis par le cycle de développement d'un logiciel. La première étape dans le cycle de développement d'un logiciel est l'analyse des besoins. Son but global est de préciser les services et les objectifs principaux qui seront réalisés et rendus par le logiciel à l'utilisateur. Cette phase est suivie par une phase cruciale qui est la phase de conception. La phase de conception est réalisée par un processus itératifs pour déterminer les divers composants et modules du système et leurs interactions. Une bonne conception est la clé d'un développement de logiciel efficace.

Un système bien conçu est facile à réaliser, à maintenir, facile à comprendre. La dernière phase consiste en une réalisation, lors de cette étape on réalise un ensemble d'unités de programme, écrites dans un langage de programmation précis.

## 2. L'objectif

Des observations réalisées sur la circulation de piéton réel ont montré l'existence d'une très forte tendance des piétons à marcher en groupe. En milieu urbain, 50 % à 70 % d'entre eux se déplacent en petits groupes, généralement constitués de deux à quatre personnes.

Donc, les mouvements de foule résultent dans la formation émergente de structures de groupe de piétons spécifiques à l'échelle macroscopique dont l'aspect peut être fascinant.

Généralement les comportements de groupe sont le résultat de la combinaison des interactions locales qu'ont les humains entre eux. Simuler ces comportements est un objectif majeur de la modélisation microscopique de foules.

L'objectif de notre travail est de concevoir un modèle microscopique. Pour arriver au notre objectif, les solutions proposées sont comme suit :

- Modéliser une scène virtuelle
- Modéliser la topologie d'environnement contenant à la fois des obstacles statiques (les murs) et l'obstacle dynamique (les piétons) et groupe des piétons
- Faire la partition d'environnement pour la navigation de chemin

On génère les comportements locaux de chaque piéton pour suivre leur chemin planifié.

### 3. Conception globale

Dans cette section présente la phase de conception globale de notre système. Tout d'abord, nous allons présenter la structure globale de ce système qui est proposé pour simuler le déplacement d'une foule virtuelle, ensuite nous allons passer à présenter le raffinement des différentes fonctions assurées par le système.

Nous considérons que notre système prend la structure montrée dans la (Figure 3.1), sa structure globale est défini comme une collection de plusieurs modules en collaboration.

- **Les entrées :** scène 3D (l'environnement) qui contient les obstacles statiques ou dynamiques où l'agent peut naviguer. Chaque individu est en général défini au début de la simulation par une vitesse, une position dans son environnement et la location de son but qu'il va essayer de réaliser
- **Foule virtuel :** Une foule est un ensemble d'individus constitué d'un petit groupe d'individus ou d'un grand groupe et présente plusieurs caractéristiques de vitesse, de densité, de direction et d'objectif. Notre système consiste à utiliser une approche microscopique pour faire une modélisation de la circulation foule et du mouvement de cette foule.
- **Les sorties :** nous obtenons une séquence d'animation présente le changement de position de la foule (les changements de direction et la vitesse et la position de chaque

piéton) sans collision avec les obstacles statiques et les autres piétons de la scène (obstacle dynamique).

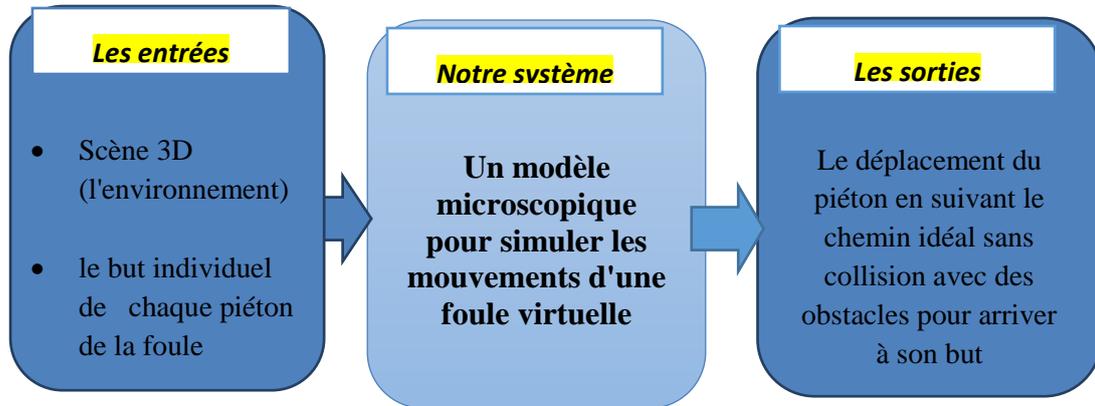


Figure 3. 1. Architecture globale de notre système

#### 4. Conception détaillée

Dans la suite, nous allons raffiner l'architecture globale de notre système proposé, et nous présenterons une nouvelle hiérarchie de composant dont la spécification est la suivante.

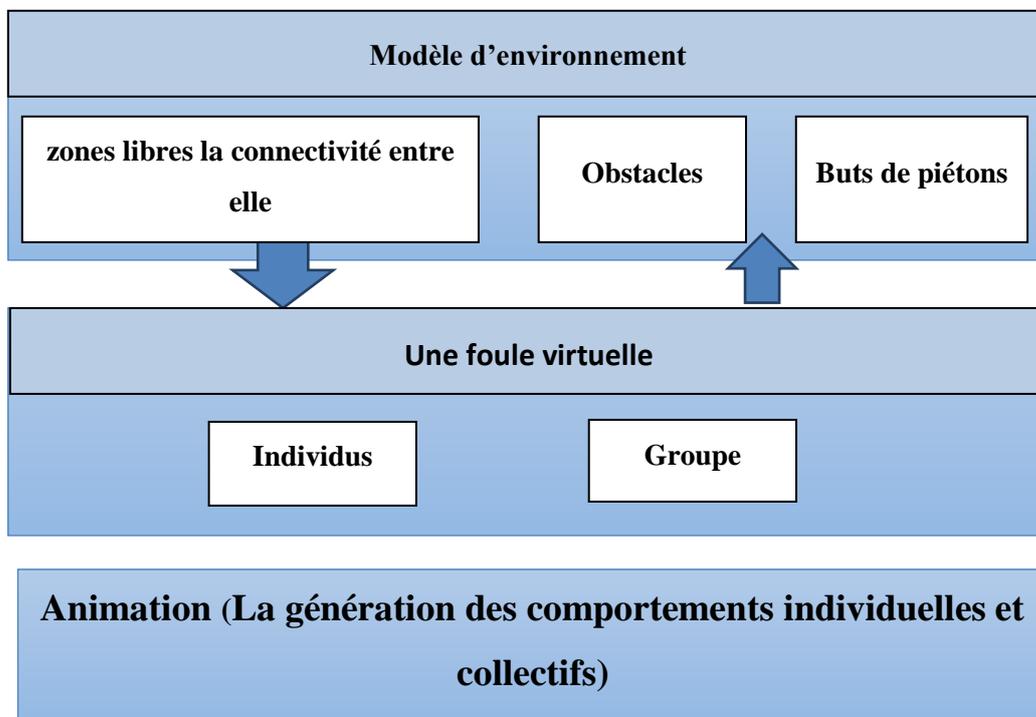


Figure 3. 2. Architecture détaillée de notre modèle

#### 4.1. Modèle d'environnement

Le rôle de ce module est d'organiser l'environnement virtuel en 3d donné comme entrée par une représentation interne sous forme 2D obtenue par l'utilisation de la maillage de navigation. Cette représentation permet l'extraction des informations nécessaires au déplacement d'entités autonomes, parmi ces informations on peut envisager les caractéristiques topologiques de l'environnement.

L'environnement est un espace physique délimité par des barrières infranchissables (des murs), et contenant un ensemble des obstacles statiques et disposant de passages (portes) situés à ses frontières qui permettent de gérer les flux entrant et sortant d'entités (Figure 3.3).

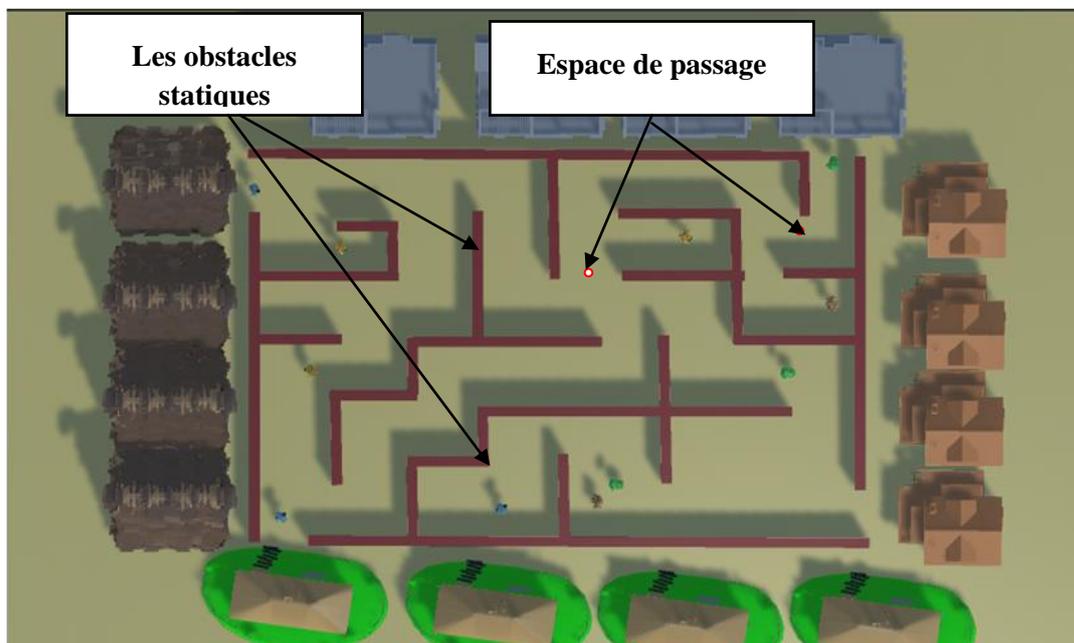


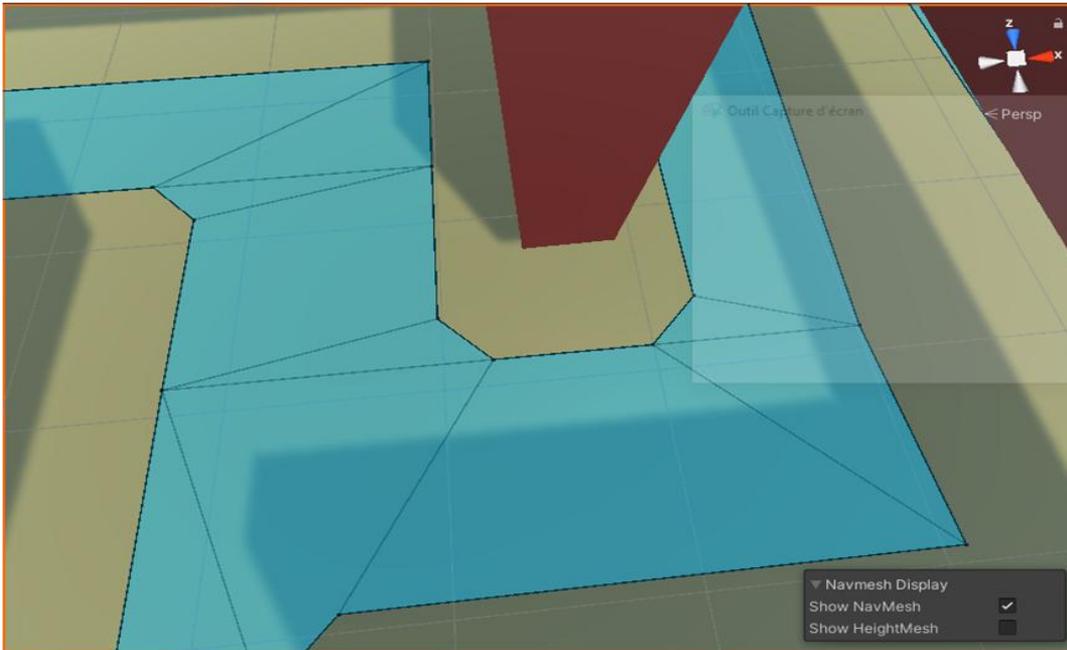
Figure 3. 3. Environnement de simulation en 3D

Le déplacement d'une foule virtuelle à l'intérieur de l'environnement nécessite que chaque piéton de la foule doit pouvoir de trouver son chemin depuis sa position initiale allant vers son but.

Pour gérer cette situation, il doit d'abord représenter l'environnement de façon que tous les informations géométriques et topologiques sont clairement définis, ensuite chaque entité utilise cette représentation pour trouver son chemin à suivre pour atteindre son but.

Dans notre travail, nous utilisons la décomposition en des maillages de navigation NavMesh pour représenter l'environnement de simulation en 2D.

NavMesh (abréviation de Navigation Mesh) est une structure de données polygonale qui décrit les surfaces navigable du l'environnement de déplacement et elle est utilisé pour planifier le chemin d'un endroit spécifique à une location de but (Figure 3.4).

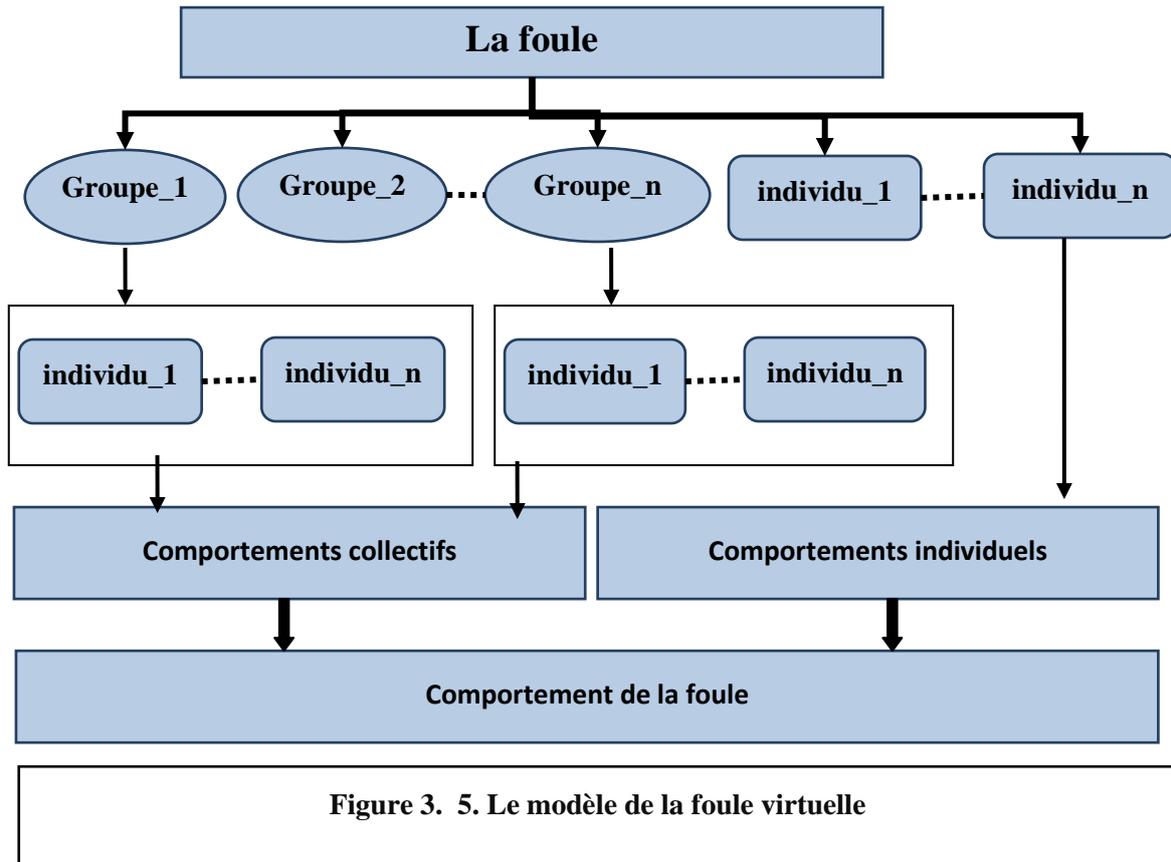


**Figure 3. 4. Le NavMesh d'un environnement de déplacement**

#### 4.2. Modèle de la foule

Dans notre travail, la foule est un ensemble de piétons qui se déplacent à partir du point initial (positionné dans l'environnement) vers le point final (but) qui est la destination. Ils marchent (individuellement ou groupe) sur un chemin navigable sans qu'ils n'arrivent des collisions entre eux et les obstacles statistiques, qui sont incluses dans l'environnement.

Par la suite, nous allons raffiner l'architecture globale de notre système proposé, et nous présenterons une nouvelle hiérarchie de composant dont la spécification est la suivante:



#### 4.2.1. Modèle de piéton virtuel

Le terme piéton virtuel signifie une entité avec des buts et des intentions, qui apportent des changements dans le monde.

Les piétons virtuels sont capables de percevoir, de décider et d'agir par eux-mêmes dans un certain cadre qui leur est imposé (Figure 3.6).

Le comportement d'un piéton est un processus de prise de décision complexe basé sur différents niveaux d'analyses. Deux niveaux distincts sont considérés:

- ✓ Le premier niveau relève de la planification de route suivant la topologie des lieux.
- ✓ Le deuxième niveau est le processus de navigation locale qui s'intéresse au déplacement du piéton à court terme et aux interactions avec les autres piétons à proximité.

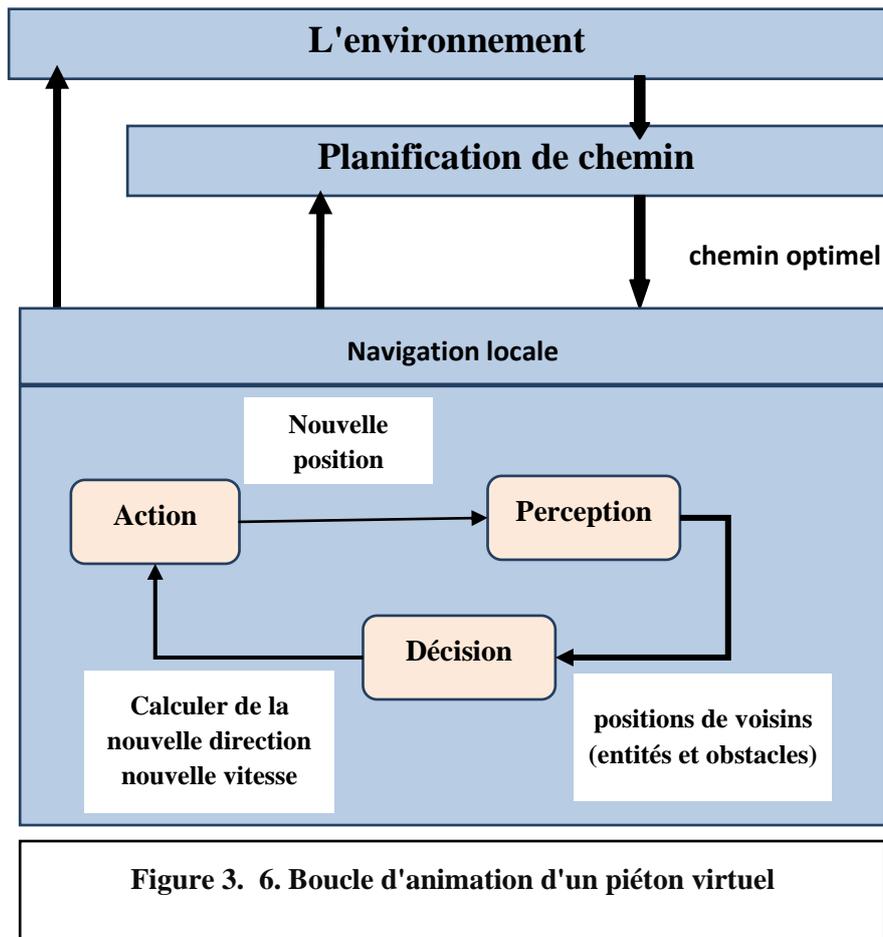


Figure 3. 6. Boucle d'animation d'un piéton virtuel

Dans notre système nous avons quatre modèles de piétons différents et chaque piétons à des caractères spécifiques qui lui son propre et son placés de manière aléatoire ils vont chacun vers un but différent, par exemple le piéton médecin qui va vers l'hôpital et utilise le chemin le plus court pour atteindre son but.

#### 4.2.2. Modèle de groupe

Un groupe de piétons est un ensemble d'agents réunis ou ayant été réunis par le concepteur ou l'utilisateur pour effectuer des tâches communes [12]. 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.

En effet, la foule de piétons contient des groupes plus que des individus isolés. Par exemple : des médecins marchent en groupe pour aller à l'hôpital, un cicérone guide un groupe de touristes dans une région archéologique, des oiseaux volant en groupe pour arriver à leurs nids...etc.

Ainsi, dans cette simulation, les comportements les plus intéressants sont générés par un groupe de piétons afin d'atteindre notre objectif. Chaque groupe de piétons se caractérise par sa position initiale, sa vitesse initiale et la location de son but (Figure 3.7).

Lorsqu'un groupe de  $G_i$  dont la taille est  $1 \leq N \leq 3$ , on utilise  $X_{ij}$ ,  $R_{ij}$  et  $V_{ij}$  pour désigner la position, le rayon et la vitesse de l'agent  $A_{ij}$  appartenant à  $G_i$ , où  $j \in [1, N]$ . Dans chaque cycle de simulation, nous définissons également le Centroid (point de référence)  $C_i$  du groupe, qui est la position moyenne de tous les membres du groupe. De même, nous déterminons la vitesse actuelle  $V_i$  du groupe comme la vitesse moyenne de ses membres.

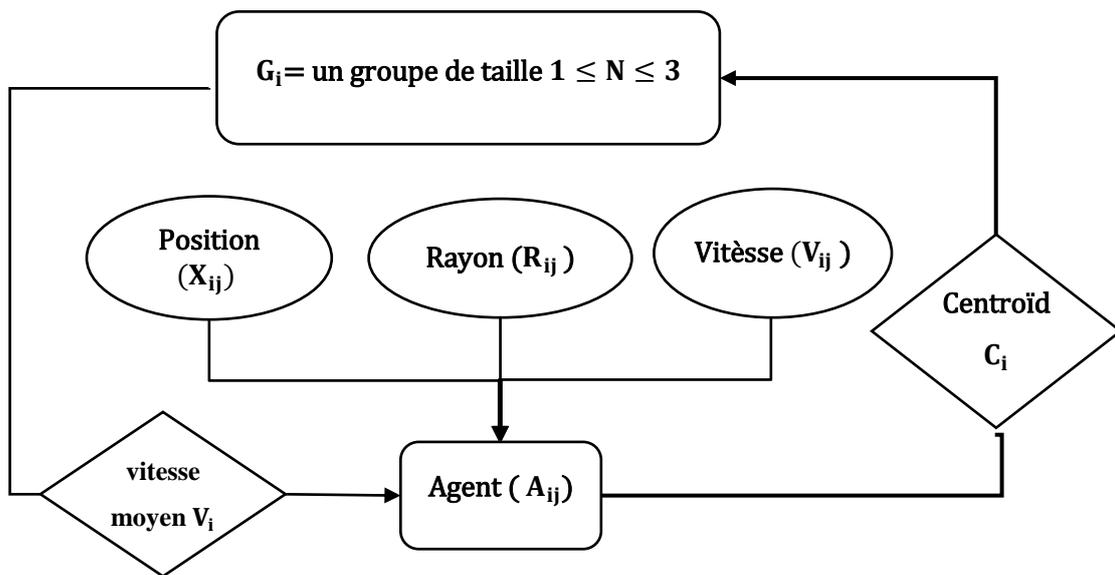


Figure 3. 7. cycle de simulation de groupe

Chaque groupe  $G_i$  à  $k$  formations souhaitées  $F^k$ , Chaque formation  $F^k$  est caractérisée par le tuple  $(P_i^{F^k}, O_{ij}^{F^k})$ ,  $P_i^{F^k}$  représente le point de référence de la formation et  $O_{ij}^{F^k}$  décrit la position relative de chaque membre du groupe par rapport au point de référence.

Dans le cas de la formation de front ou en forme de V, le point de référence est représenté par le Centroid (la position moyenne de tous les membres du groupe) du groupe, tandis que dans la formation en forme de rivière, le point de référence est désigné par la position de l'agent leader.

Dans cette simulation, nous avons des piétons et chaque groupe de piétons marchent avec une formation spécifique. Après la formation, va se former un groupe, et ce groupe utilise cette formation pour suivre son chemin et atteindre son zone de but (Figure 3.8).

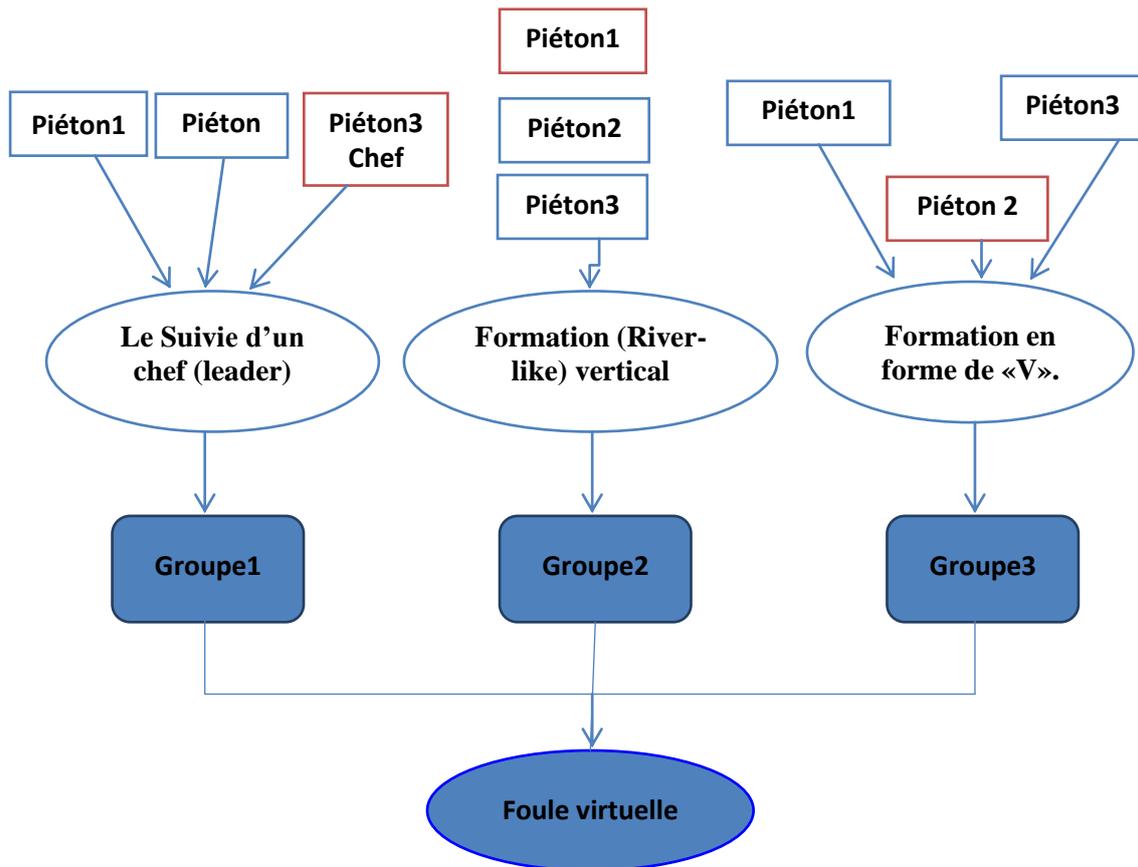


Figure 3. 8. Le modèle de Formations des groupes

## 5. Conclusion

Au cours de ce chapitre, nous avons présenter la conception détaillée de notre modèle pour simuler le déplacement d'une foule virtuelle par une approche microscopique.

À travers la conception globale de ce modèle, nous avons définir les modèles qui sont en collaboration pour modéliser les comportements du groupe, ensuite nous avons détailler chaque modèle.

Nous étudierons au chapitre suivant la phase de réalisation de cette conception (l'implémentation) en illustrant le résultat de notre système.

## Chapitre 04: Implémentation et résultats

### 1. Introduction

Après avoir présenter la conception détaillée de notre modèle et préciser ses différents composants détaillés, l'étape suivante consiste à utiliser un langage de programmation particulière pour les implémenter.

Dans ce chapitre, nous allons présenter la dernière phase de réalisation de cette conception qui est l'implémentation à travers différents modules que nous avons également vue dans la phase de conception.

Ensuite nous allons illustrer le résultat de simulation sous formes de différents scenarios de foule.

### 2. Les outils utilisés

#### 2.1. Unity3D

Pour implémenter notre modèle de simulation microscopique, le logiciel de simulation Unity est utilisé. Il est une plate-forme de développement initialement créée pour développer des jeux, mais il est maintenant utilisée pour plusieurs domaines telles que: l'architecture, l'art, la gestion de l'information, l'éducation, le divertissement, le marketing, les installations médicales, militaires, physiques ....[21]. On peut télécharger et installer l'éditeur Unity à partir du site Web Unity3D; <https://unity3d.com/get-unity/download>



Figure 4. 1. L'environnement de développement Unity

Les scripts Unity font partie intégrante de tout jeu (simulation). Les scripts peuvent être écrits en C # est l'option la plus populaire de nos jours, c'est donc le seul langage que nous utiliserons.

Pour la création de notre script Unity nous allons créer un nouveau dossier dans Assets appelé Script puis double-cliquer sur ce nouveau fichier et **Visual Studio** s'ouvrira. Le contenu par défaut est le suivant:

```
1 using System.Collections;
2 using System.Collections.Generic;
3 using UnityEngine;
4
5 public class CoinController : MonoBehaviour {
6
7     // Use this for initialization
8     void Start () {
9
10    }
11
12    // Update is called once per frame
13    void Update () {
14
15    }
16 }
```

Figure 4. 2. Script de base C#

## 2.2. Visual C++

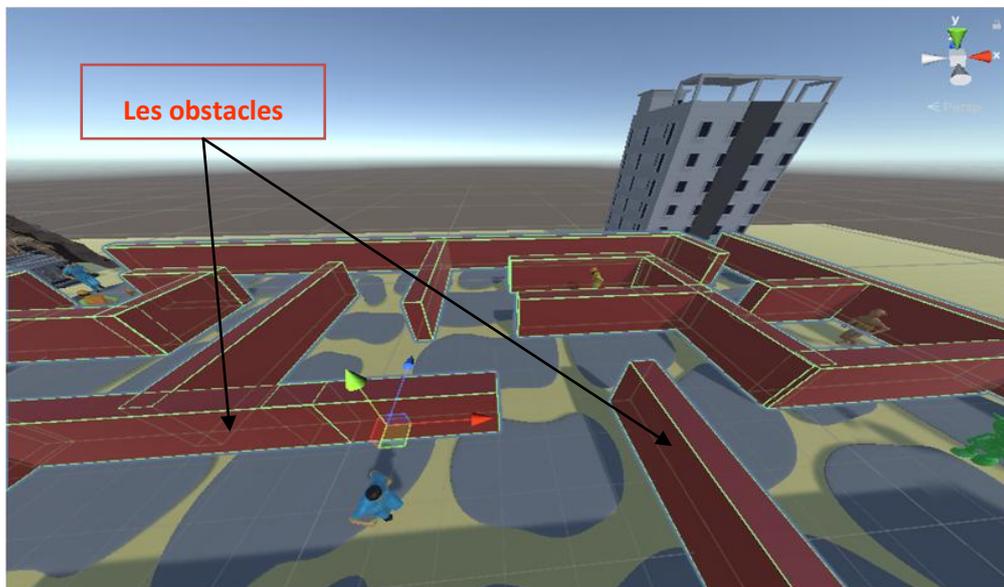
**Visual Studio 2010** [22] est un environnement de programmation extensible qui permet aux développeurs de créer des applications performantes pour Windows, Android et iOS

**Visual C++** est un environnement de développement intégré pour Windows, conçu par Microsoft pour les langages de programmation orienté-objet **C** et **C++** et intégrant différents outils pour développer, compiler, déboguer un programme en **C++** s'exécutant sur Windows.

## 3. La modélisation de l'environnement

Notre scène modélisé est un **labyrinthe** composé de plusieurs zones, où chaque zone contient des objets statiques localisés sur la surface de notre environnement. Ces objets représentent les murs et les obstacles distribués dans la scène.

Pour modéliser notre scène, nous avons défini chaque obstacle par un cube de position  $(x, y, z)$  et les murs sont représentés comme étant un ensemble d'obstacles juxtaposés et placés sur les frontières de la scène (Figure 4.3).



**Figure 4. 3. Environnement de simulation (labyrinthe) en 3D**

La décomposition de notre scène est réalisée par la méthode un maillage de navigation (ou NavMesh). Cette méthode utilise un graphe pour modéliser les espaces libres (Figure 4.4). Chaque face du maillage se comporte comme un nœud dans un graphe,

deux nœuds sont reliés par une arête, si les faces associées partagent une facette commune.

Parce que les faces sont convexes, tout point de l'intérieur d'une face peut être atteint par une ligne droite à partir de n'importe quel autre point à l'intérieur de la même face.

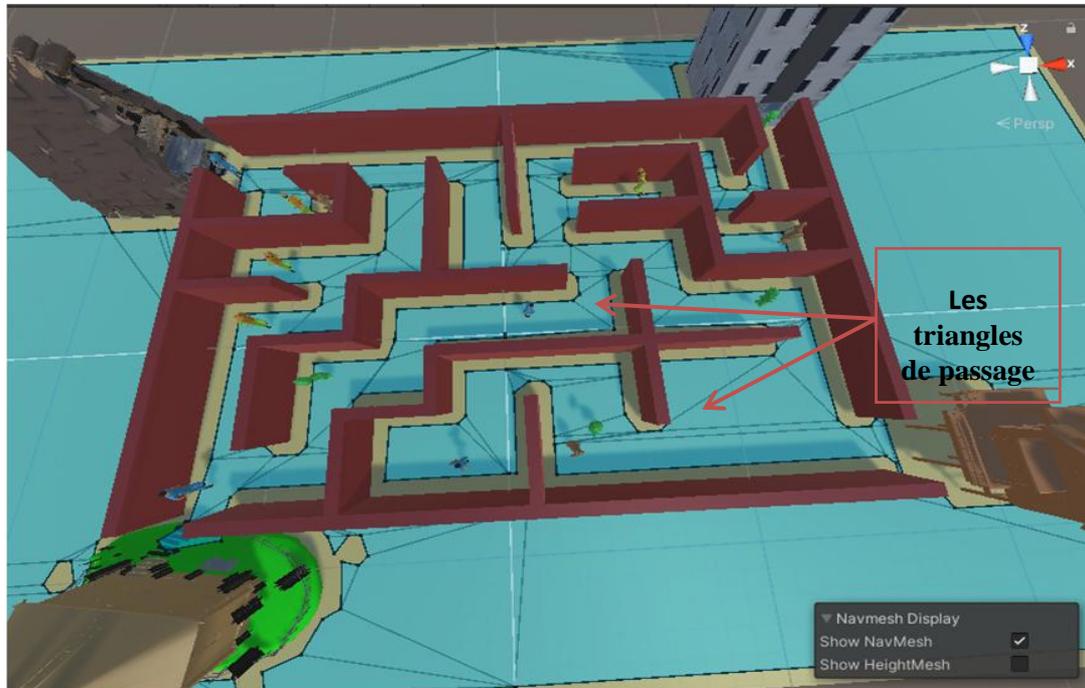


Figure 4. 4. La décomposition de notre scène (triangulation)

#### 4. Création de piéton

Pour créer le piéton virtuel de notre foule en 3D, nous avons importé un modèle 3D dans Unity et nous avons fait glisser un fichier dans la fenêtre du projet. Dans < inspector > Unity qui prend en charge l'importation de modèles à partir des applications 3D les plus courantes.

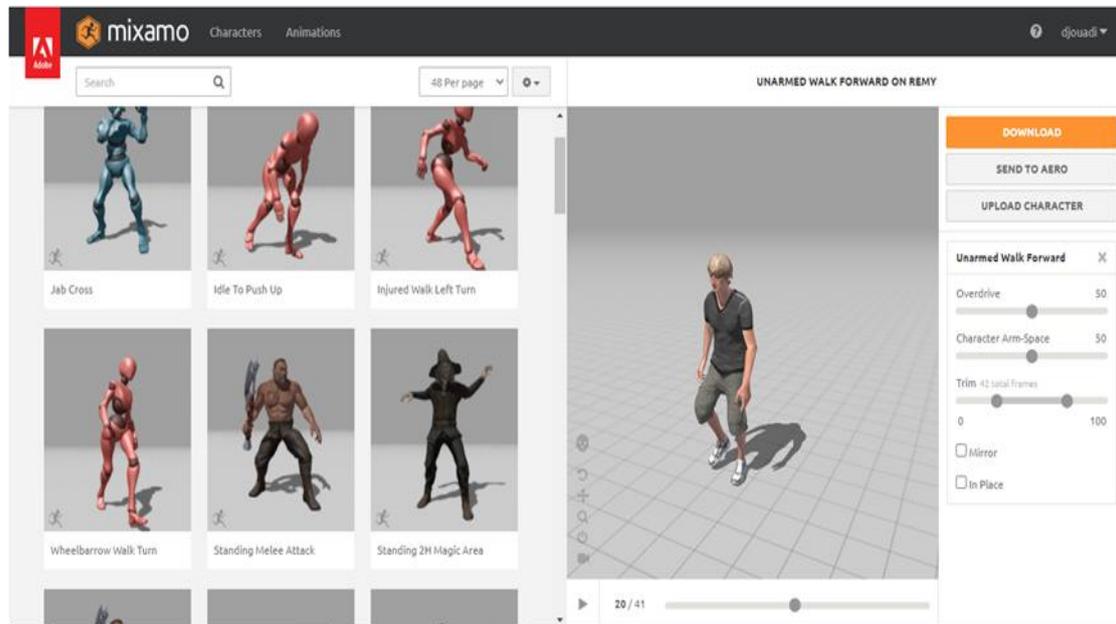
Les buts et les positions des piétons de la foule sont placés de manière aléatoire, chaque piéton de la foule exécute un ensemble de comportements, c'est-à-dire, il se déplace suivant le chemin optimal qui trouve par <NavMesh> et peut éviter les obstacles statiques ainsi que les obstacles dynamiques (les autres piétons).

Chaque piéton possède les caractéristiques suivantes:

- ✓ **Position** : spécifie la position actuelle de piéton, cette position est mise à jour en temps réel en fonction de déplacement.
- ✓ **Rayon** : spécifie l'espace personnelle de piéton.
- ✓ **Vitesse** : spécifie la vitesse de déplacement (**speed**).

- ✓ **Accélération:** spécifie l'accélération maximale d'un individu.
- ✓ **AngularSpeed:** spécifie la vitesse de rotation maximale de déplacement.

Nous pouvons voir ci-dessous à travers le service en ligne Maximo [20] (Figure 4.5) qui nous allons détailler l'importation de personnage virtuel dans Unity.



**Figure 4. 5. Importation des personnages virtuels avec Mixamo**

Mixamo est un service en ligne gratuit pour animer automatiquement des personnages 3D et permet aux utilisateurs de télécharger des fichiers : .FBX, .OBJ ou .Zip. Mixamo met à la disposition une grande bibliothèque de personnages prédéfinis et de packs d'animation pour permettre de créer facilement des jeux 3D de haute qualité plus rapidement et à moindre coût.

Si nous utilisons par exemple un personnage personnalisé depuis le site de Mixamo, il faudra l'importer dans Unity et sélectionner le format. FBX pour Unity et enfin glisser le fichier dans la fenêtre du projet.

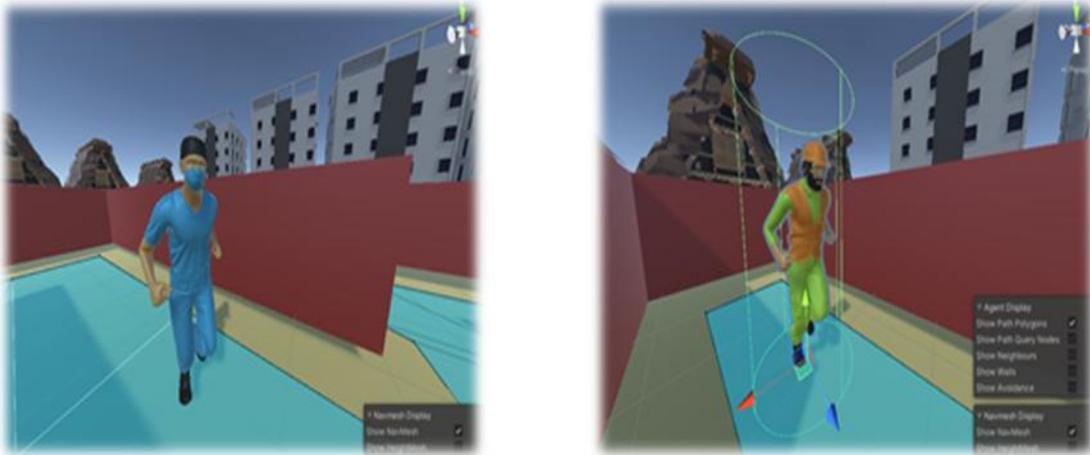


Figure 4. 6 Modèles de personnages dans la scène

## 5. Modélisation de processus de navigation

Dans notre application, le système de navigation permet trouver le plus court chemin en utilisant des maillages de navigation <NavMesh> qui est créés automatiquement à partir de la géométrie de notre scène.

Dans notre modèle chaque piéton est placé dans une position aléatoire, il est caractérisé par un but spécifique, et il exécute plusieurs étapes pour faire son déplacement libre dans l'environnement virtuel. Dans notre simulation, nous avons faire 4 modèles de caractères placés aléatoirement, chaque modèle a un cercle et chaque cercle a sa couleur et chaque couleur représente un groupe ainsi chaque groupe se déplace vers son but (voir Figure 4.7).



Figure 4. 7 Le piéton est placé dans une position aléatoire, il est caractérisé par un but spécifique

Pour illustrer l'application avec la recherche du plus court chemin on a retenu une séquence d'images montrant le déplacement d'un piéton dans une scène 3D. Nous avons donc représenté le chemin par la couleur orange (Figure 4.8).

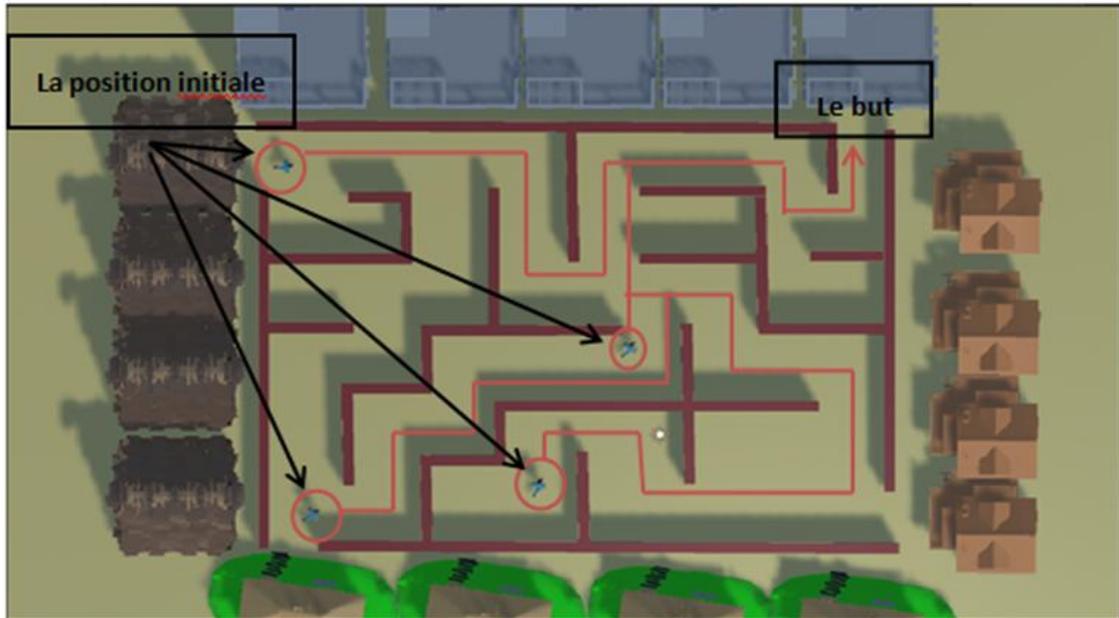


Figure 4. 8. Les chemins calculés pour chaque piéton

La figure 4.9. illustre le processus de navigation pour chaque individu. Les individus se déplacent vers des endroits spécifiques selon des chemins optimums

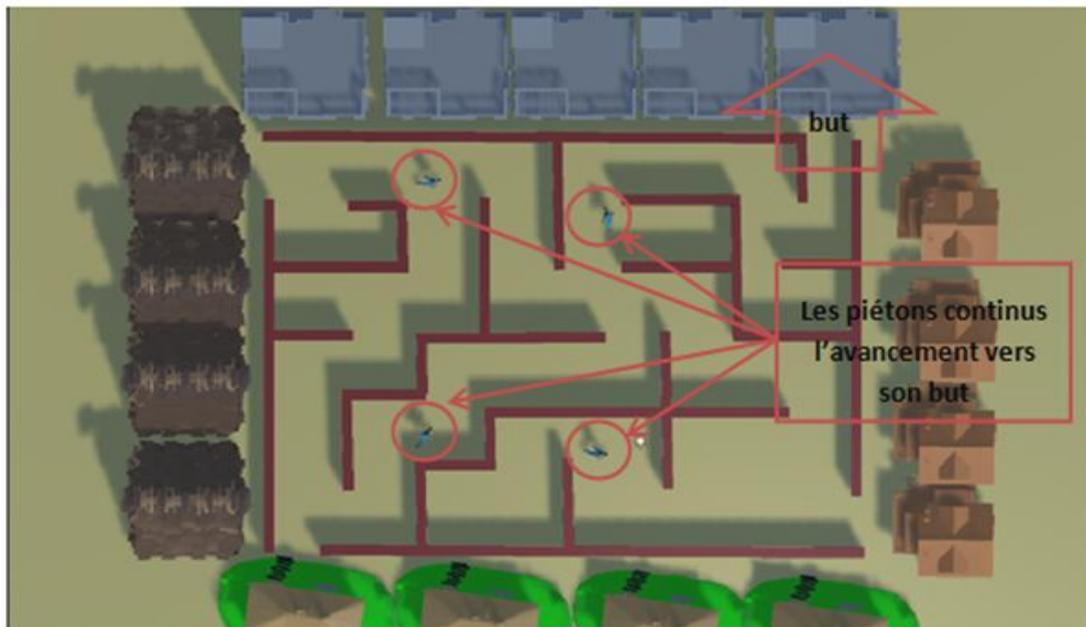


Figure 4. 9 Les piétons naviguent vers les buts

La figure 4.10 représente la circulation d'un groupe de piéton pour atteindre son but. Les membres de groupe suivent le même chemin.



Figure 4. 10 Le groupe se déplace vers son but

Les étapes de déplacement de piéton peuvent être résumer dans l'algorithme suivant :

**Procédure Le chemin le plus court ();**

**Début**

Agent chef ;

Agent membre ;

Home chef ;

**Pour (chaque chef) faire**

Calculer Chemin Min par NavMesh (chef, home) ;

**Fin pour ;**

**Tant que (chef. Position != home. Position) faire**

Position\_suiv <- Position Suivante (chef);

**Si (position\_suiv != obstacle. Position && position\_suiv == vide ()) alors**  
Déplacer chef ver position\_suiv (chef)

**Sinon**

Change direction (chef) ;

**Fin si ;**

**Fin Tant que ;**

## 6. L'interaction entre les piétons

Le modèle de force sociale définit comme étant un système multi-agent qui est utilisé pour modéliser le processus de navigation où les agents s'évitent entre eux sans

communication explicite, chaque agent suppose que les autres agents utilisent le même mécanisme de force.

Les forces d'interaction entre les membres de groupe et les obstacles est calculé par l'algorithme suivant:

**Algorithme des forces ;**

Début

```
Ancien_Rayon<- tableau[1...n]de double ;  
Ancien_Vélocité <- tableau[1...n]de double;  
Ancien_Rayon_Obs<- tableau[1...n]de double;
```

```
Leader <- NavMesh Agent ;  
Leader. set Destination (Destination) ;
```

Pour (chaque Agent Ai de Groupe Gi ) faire

```
    Ancien_Rayon[i]<- Ai.X – Leader.X ;  
    Ancien_Vélocité[i]<- Ai.Z – Leader.Z ;  
    Ancien_Rayon_Obs[i]<- Ai.X – Leader.X ;
```

Fin pour

Tant que (Leader. Position != Destination. Position)

```
    Si (Nouveau_Rayon_Ai != Ancien_Rayon[i]) alors  
        Changer la position de l'Agent Ai () ;
```

Fin si

```
    Si (Nouveau_Vélocité_Ai != Ancien_Vélocité[i]) alors  
        Changer la Vélocité de l'Agent Ai () ;
```

Fin si

```
    Si (Nouveau_Rayon_Obs_Ai != Ancien_Rayon_Obs[i]) alors  
        Changer la Rayon_Obs[ de l'Agent Ai () ;
```

Fin si

Fin tant que

Fin

## 7. Les comportements de groupes

Les piétons de groupe, ont besoin d'atteindre une zone de but spécifique sans entrer en collision entre eux et avec l'environnement ainsi qu'avec d'autres individus ou d'autres groupes qui peuvent être présents dans le monde virtuel. Cependant, les individus doivent marcher ensemble en tant que groupe cohérent, s'efforçant de maintenir une formation qui soutient la communication sociale entre eux.

Nous supposons que l'objectif est atteint lorsque tous les individus du groupe sont dans la zone de but.

Après trouver le chemin, chaque piéton doit faire une séquence des déplacements vers le but à atteindre, pour réaliser ce déplacement, le piéton doit recalculer la nouvelle direction et la nouvelle vitesse (une vitesse pour contrôler le piéton).

Dans ce contexte, nous avons utilisé les deux algorithmes: **changement\_vélocité** pour calculer la nouvelle vitesse et **changement\_Rayon** pour calculer la nouvelle direction:

### Algorithme changement\_vélocité

Début

Ancien\_vélocité = Agent.Z - Leade.Z;

Nouveau\_vélocité = Agent.Z\_actuel - Leade.Z\_actuel;

Si (Ancien\_vélocité < Nouveau\_vélocité) alors

Vitesse (Agent\_i) ++;

Si non

Si (Ancien\_vélocité > Nouveau\_vélocité) alors

Vitesse (Agent\_i) --;

Si non

Vitesse (Agent\_i) <- Vitesse [leader];

Fin si

Fin si

Fin

### Algorithme changement\_Rayon

Début

Ancien\_Rayon= Agent.X – Leade.X ;

Nouveau\_Rayon =Agent.X\_actuel- Leade.X\_actuel ;

Si (Ancien\_Rayon < Nouveau\_Rayon ) alors

    Changer la position de l'Agent\_i ;

    Vitesse (Agent\_i) ++ ;

Si non

Si (Ancien\_Rayon > Nouveau\_Rayon ) alors

        Changer la position de l'Agent\_i ;

        Vitesse (Agent\_i) -- ;

Si non

        Position le l'Agent\_i <- positon\_Leader ;

        Vitesse(Agent\_i) <- Vitesse [leader];

Fin si

Fin si

Fin

Dans notre modèle, nous avons implémenté des exemples de comportements de groupe, les membres du groupe marchent les uns derrière les autres et forme une formation de type (*River-like*). Et une autre formation de type (*V-like*), aussi une autre formation de type (*Line-Abreast*). Telles formations permettent aux piétons de communiquer facilement entre eux tout en avançant vers leur but. (Figure 4.11)

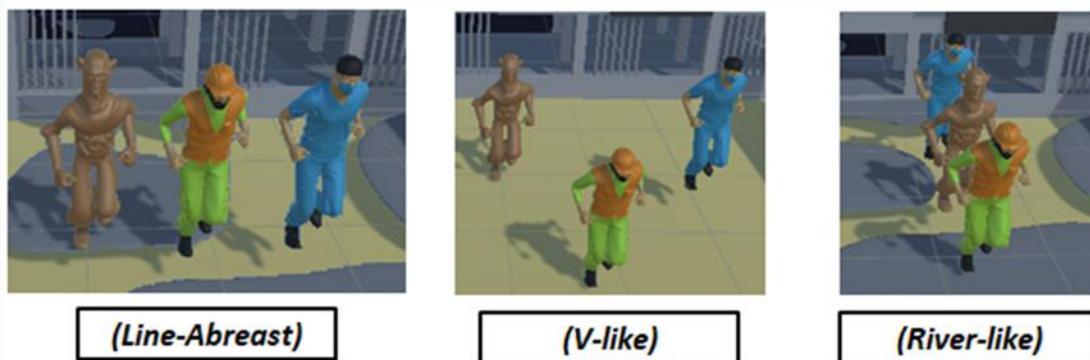


Figure 4. 11. Les Formations de groupe

### 7.1. Evitement de collisions entre les groupes

Notre travail se concentre sur le comportement local des groupes, c'est-à-dire sur la manière dont les membres du groupe interagissent les uns avec les autres, avec d'autres groupes et des individus. La figure 4.12 illustre deux exemple d'évitement de collision entre deux groupes

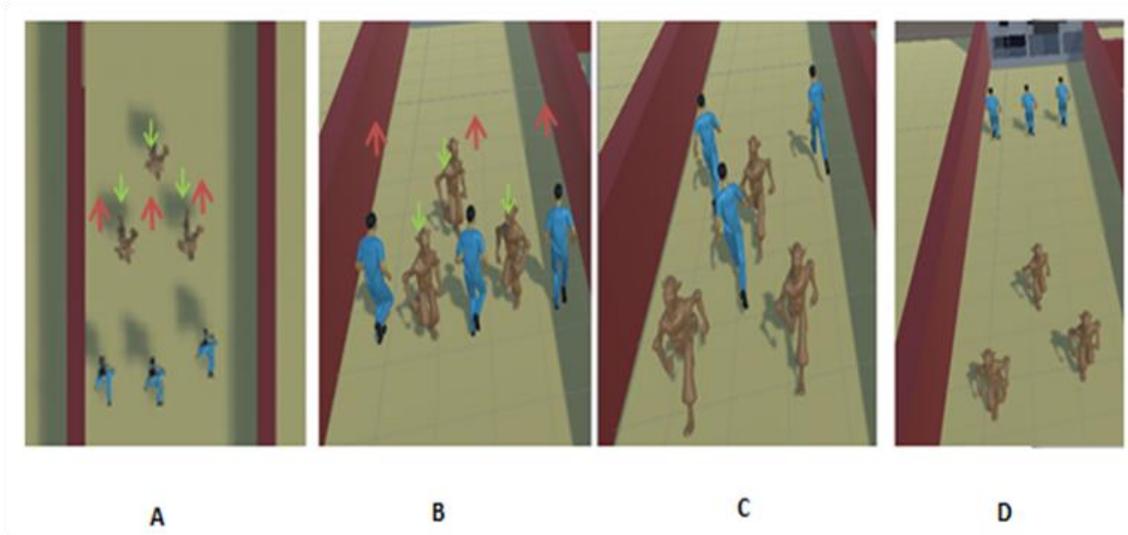


Figure 4. 12. Evitement de collisions entre les deux groupes de formation V-like (A et B) et Line-Abreast (C et D).

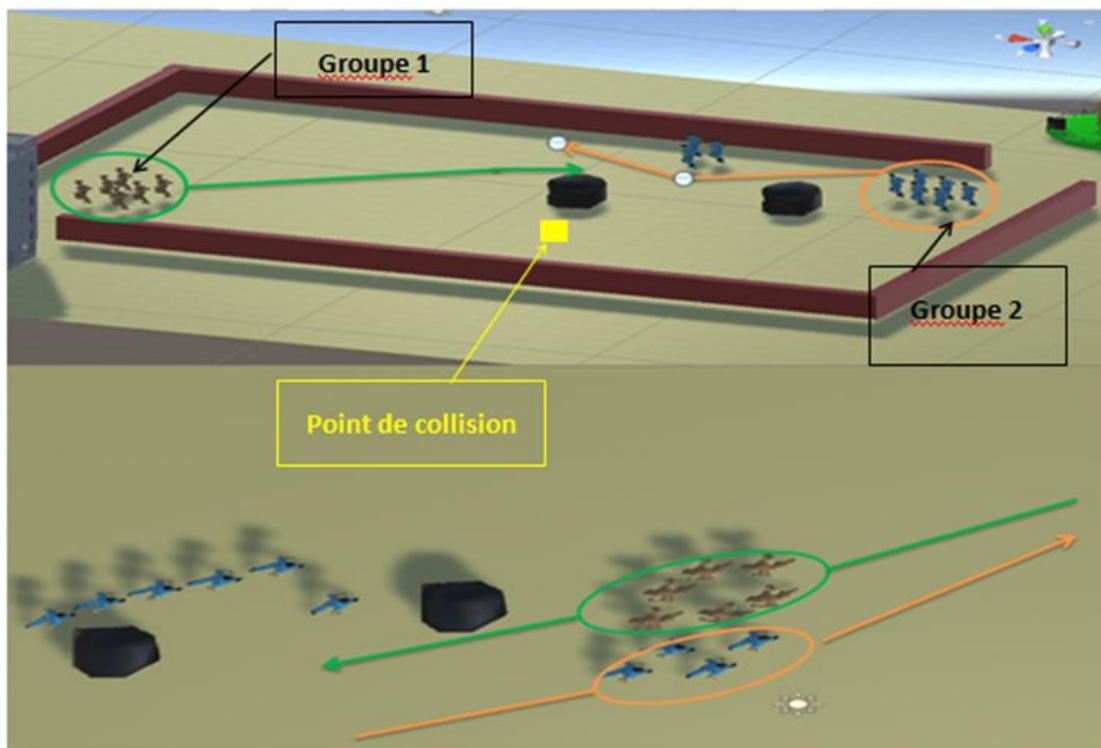


Figure 4. 13. Evitement de collisions entre les deux groupes

## 7.2. Le comportement de suivi du leader

Les piétons ont tendance à marcher en petits groupes, composés principalement de paires ou plus d'individus. Nous présentons une approche microscopique pour simuler le comportement de marche de ces petits groupes.

Dans notre simulation, le groupe est composé de 4 membres, nous allons illustrer les résultats de comportement suivi du leader (Figure 4.14)

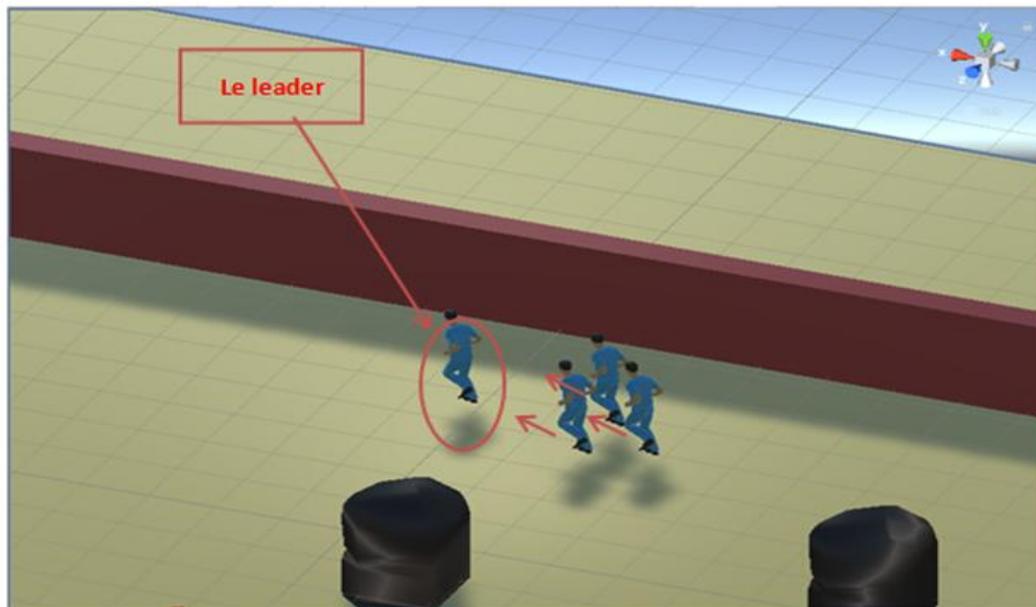


Figure 4. 14 Le comportement : suivi du leader

**Procédure Suivi Leader ( ) ;**

**Début**

**Agent Leader ;**

**Agent membre ;**

**Tant que (Leader. Position != But. Position) faire**

**Membre. Position <- Leader. Position ;**

**Fin Tant que**

**Fin;**

### 7.3. Evitement des obstacles statiques

Nous avons essayé dans cet exemple d'illustrer comment un piéton évite la collision avec un obstacle statique, comme est représenté dans les deux figures suivantes:

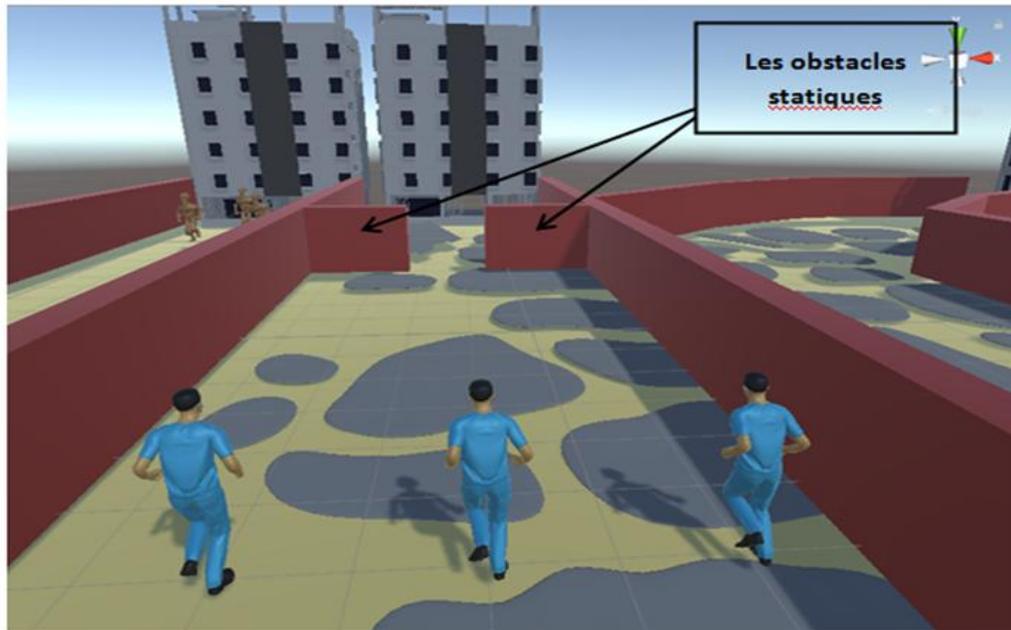


Figure 4. 15. Capteur d'image représente les obstacles statiques en 3D

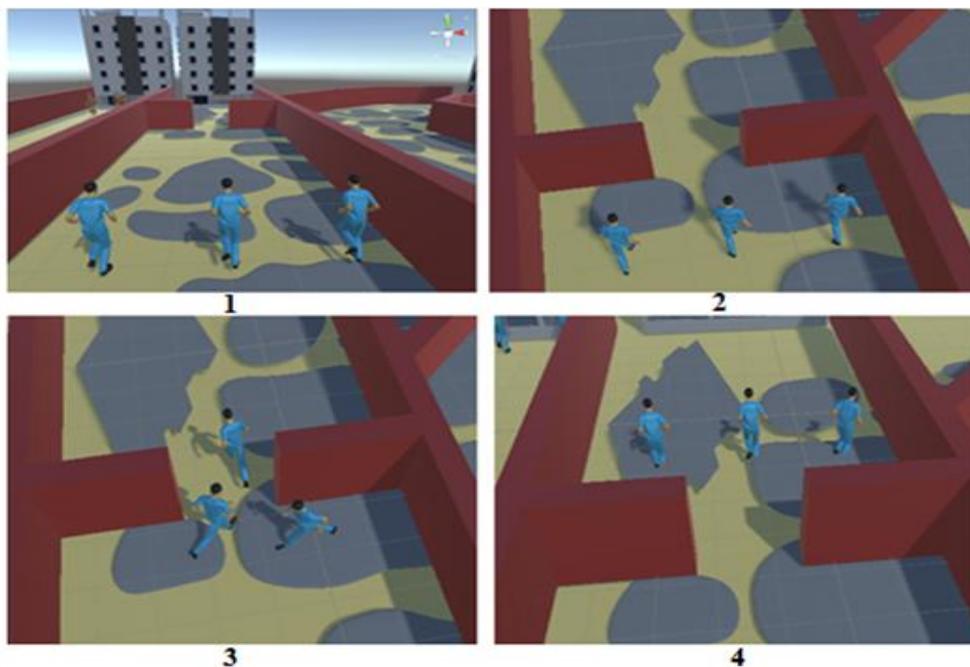


Figure 4. 16 Le comportement d'évitement d'obstacle statique où le groupe garde sa formation initiale

#### 7.4. Evitement des obstacles dynamique

En générale, les piétons doivent être capables de naviguer dans l'environnement virtuel de manière réaliste, en évitant les collisions avec d'autres individus et la partie statique de l'environnement

A présent nous avons présenté un exemple obtenu par notre système pour la répulsion entre deux piétons qui se déplacent dans notre scène (Figure 4.17).



Figure 4. 17. Exemple d'interaction entre deux piétons

Nous allons présenter aussi un autre scénario, il montre l'évitement de collision entre deux groupes (*V-like*) et (*Line-Abreast*), entre les positions actuelles des membres du groupe et la position des membres dans la futur formation se rapproche et toute minimise la distance totale que les membres doivent parcourir. Cette méthode est utilisée pour dériver une nouvelle direction de chaque agent  $A_{ij}$ .

## 8. Conclusion

Nous avons étudié dans ce chapitre l'implémentation de notre système de simulation microscopique pour générer le déplacement de foule de piéton, notre système utilise l'approche de forces sociales pour générer les comportements de groupes.

## Chapitre 04: Implémentation et résultats

Nous avons donc réalisé d'une part la représentations de l'environnement et des piétons qui suivent des chemins différents et d'autre part une modèle force sociale pour gérer l'interaction entre ces piétons dans notre environnement virtuel.

Enfin, nous avons illustré notre résultat obtenu par la création de plusieurs scénarios gérant l'interaction entre les piétons.

## Conclusion générale

La simulation de foules d'humains virtuels a été étudiée depuis plusieurs années dans différents domaines d'applications tel que: la conception architectural (mise en situation d'un nouveau bâtiment pour des besoins d'illustration, estimation des niveaux de service), la planification urbaine (évaluation des impacts des modifications de l'environnement), la sécurité (simulation d'évacuation), ..etc..

Au cours de ce travail, nous avons concentrer sur la problématique qui consiste de proposer un modèle microscopique pour simuler le mouvement d'une foule virtuelle dans un environnement virtuel 3D. La foule est composée des individus et des groupes dynamiques, ainsi le résultat de notre projet s'inscrit dans le cadre de générer des comportements collectifs.

Ce travail propose une méthode pour simuler la foule. La méthode se base sur un principe de comportement du groupe, de même, le mouvement de groupe dépend des comportements de ses individus. Par conséquent, le comportement du groupe résulte du comportement des individus et leurs interactions avec eux et avec l'environnement.

La réalisation de ce travail s'est déroulée en plusieurs étapes. En effet, nous avons commencé par une étude littéraire qui a permis de mettre en évidence les modèles de simulation de foule. Nous avons pu analyser au cours de cette étude les modèles proposés pour les comportements de groupe. Par la suite, nous avons décrire dans son ensemble et de manière détaillée l'architecture interne de chaque composant du système. Enfin, nous nous sommes dirigés vers la réalisation de notre système qui représente l'implémentation. Nous avons réussi à construire un système performant d'une simulation de manière microscopique d'une foule des piétons circulant dans un environnement virtuel loin de toute collision avec obstacles statique et dynamique.

## Références

- [1] A. Kamphuis, M. H. Overmars. Finding paths for coherent groups using clearance. In Proceedings of the 2004 ACM SIGGRAPH/Eurographics Symposium on Computer Animation, SCA '04, Aire-la-Ville, Switzerland, Switzerland, Eurographics Association, pp 19-28, 2004.
- [2] A. Kimmel, A. Dobson, K. Bekris. Maintaining team coherence under the velocity obstacle framework. In Proceedings of the 11th International Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems - (1) Richland, SC, International Foundation for Autonomous, AAMAS '12, pp 247-256, 2012.
- [3] A. Kirchner, A. Schadschneider, “Simulation of evacuation processes using a bionics-inspired cellular automaton model for pedestrian dynamics,” *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, vol. 312, pp. 260–276, 2002.
- [4] C. W. Reynolds. Flocks, herds and schools: A distributed behavioral model. *SIGGRAPH Computer Graphics*, 21(4):25–34, 1987.
- [5] C. W. Reynolds. Steering behaviors for autonomous characters. *Proc. of Game Developers Conference*, pp. 763–782, 1999.
- [6] D. Helbing, P. Molnár, “Social force model for pedestrian dynamics,” *Physical Review E*, vol. 51, pp. 4282–4286, 1995.
- [7] F. Qiu and X. Hu. Modeling group structures in pedestrian crowd simulation. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 18, pp.190 – 205, 2010.
- [8] I. Karamouzas, M. H. Overmars. Simulating human collision avoidance using a velocity-based approach. In *VRIPHYS 10: 7th Workshop on Virtual Reality Interactions and Physical Simulations*, Eurographics Association, pp 125-134, 2010.
- [9] J. Archea. The evacuation of non-ambulatory patients from hospital and nursing home first: A framework for a model. Technical report, National Bureau of Standards, Center for Building Technology, National Engineering Laboratory, Washington DC, 1979.
- [10] K. Ijaz, S. Sohail, S. Hashish, A Survey of Latest Approaches for Crowd Simulation and Modeling Using Hybrid Techniques, *Proceedings of the 2015 17th*

UKSIM-AMSS International Conference on Modelling and Simulation, March 2015, pp. 111–116

- [11] L. Henderson. The statistics of crowd fluids. *Nature*, (229), 381–383, 1971.
- [12] M. Moussaïd, "Étude expérimentale et modélisation des déplacements collectifs de piétons". Thèse de doctorat, l'Université de Toulouse III - Paul Sabatier, 2010.
- [13] M. Moussaïd, N. Perozo, S. Garnier, D. Helbing, G. Theraulaz. The walking behaviour of pedestrian social groups and its impact on crowd dynamics. *PLoS ONE*, 5(4):e10047, 2010.
- [14] N. Pelechano, J. Allbeck, N. Badler, "Virtual Crowds: Methods, Simulation, and Control", Vol. A Publication in the Morgan & Claypool Publishers series, Synthesis lectures on computer graphics and animation, pp. 176, 2008.
- [15] O. Kurdi, *Crowd Modelling and Simulation*, thèse de doctorat, université de Sheffield, 2017
- [16] P. Pecol, " Modélisation 2D discrète du mouvement des piétons : application à l'évacuation des structures du génie civil et à l'interaction foule-passerelle ". Thèse de doctorat, Université Paris-Est, 2012.
- [17] S. I. Park, F. Quek, Y. Cao. Modeling social groups in crowds using common ground theory. In *Proceedings of the Winter Simulation Conference, WSC '12, Winter Simulation Conference*, pp 113:1-113:12., 2012.
- [18] S. Sarmady, F. Haron, A. Zawawi, H. Talib. Modeling groups of pedestrians in least effort crowd movements using cellular automata. In *Modelling Simulation, 2009. AMS '09. Third Asia International Conference on*, pp 520-525, 2009.
- [19] T. Robin, G. Antonini, M. Bierlaire, J. Cruz. Specification, estimation and validation of a pedestrian walking behavior model. *Transportation Research Part B : Methodological*, 43, pp. 36 – 56, 2009.
- [20]:<https://mixamo.com/get-mixamo/download>
- [21]:<https://unity3d.com/get-unity/download>
- [22] :<https://www.visualstudio.com/products/visual-studio-community-vs>