

## Introduction général

La modélisation du mouvement de foule est un vaste sujet d'étude, abordé par les scientifiques de l'animation, qui présente un grand intérêt: il s'agit d'un sujet complet pour tous les domaines sans exception, où la modélisation d'une personne dans le comportement humain réel dans un environnement virtuel afin d'obtenir un résultat réel. La modélisation portera sur un grand groupe d'individus, sur chaque individu ou un grand groupe divisé en petits groupes.

Le comportement établi est dérivé du comportement humain réel en observant le comportement de la foule, en fait La plupart utilisent une représentation microscopique de la foule : chaque personne est modélisée indépendamment, et la dynamique globale est le résultat de l'évolution de chaque individu. Une façon peu coûteuse de modéliser cette évolution consiste à représenter l'espace comme une grille, dont chacune des cases est soit vide, soit occupée par une personne. C'est la méthode la plus employée par les logiciels de simulations d'évacuations.

Bien que plus rares, certains modèles macroscopiques représentent la foule par une densité de personnes, et étudient directement l'évolution de cet ensemble d'individus. L'usage de densité permet en particulier de modéliser le comportement d'une foule importante sans limitation numérique sur le nombre de personnes. La plupart de ces modèles généralisent les principes utilisés dans le transport routier, et la vitesse est alors donnée comme une fonction de la densité. D'autres modèles reprennent le principe des forces sociales déjà utilisées dans le cas microscopique, et font intervenir des forces de répulsion entre individus.

L'importance de la modélisation des foules est dans la simulation d'opérations très difficiles, elle est obtenue de manière empirique dans la pratique. Par exemple, dans des situations d'évacuation, il est impossible de risquer de vraies personnes.

Pour représenter le processus d'évacuation en réalité dans un bâtiment incendié ou dans le cas d'un séisme ainsi dans les domaines des entraînements car il est difficile de s'entraîner directement sur la réalité (une formation sur le pilotage d'un avion).dans ce travail est consacrée à la modélisation macroscopique de mouvement de foule.

Le présent mémoire est structuré en quatre chapitres de la manière suivant :

Dans le premier chapitre, Nous apprendrons les termes les plus importants la définition de simulation de la foule après le domaine d'applications, définition de la foule, ensuite types de foules et les comportements de foule, enfin les approches de simulation.

Dans le second chapitre, est consacré à la présentation Deux approches de simulation sont présentées: microscopique et macroscopique et la comparaison entre deux approches.

Dans le troisième chapitre, objectif ce travail, conception Divisé en deux parties conception Global et la conception détaillée explique notre travail.

Dans le quatrième chapitre, Nous étudierons les moyens que nous avons utilisés et présenterons les résultats obtenus.

Ce mémoire est terminé par une conclusion générale récapitulant notre système.

## 1. Introduction

Simulation de foules et groupes est devenue de grande importance et de simulation de foules date en infographie jusqu'aux années 1980, et il existe de nombreuses applications d'animation par ordinateur, simulation et certaines de ces applications comprennent l'éducation, divertissement, formation et humain des facteurs analyse pour bâtiment Évacuation ou autres scénarios où se rassemblent les fans tels que des événements sportifs, des concerts et des rassemblements politiques. Le but de simuler des foules est que les agents peuvent communiquer entre eux et montrent des comportements différents et leur interaction avec l'environnement qui créent avec un comportement humain normal. Dans ce chapitre, on présenter la définition de simulation de la foule après domaine d'applications, définition de la foule, ensuit types de foules et les comportements, enfin les approches de simulation.

## 2. Simulation de la foule

Bien que la notion de « simulation » ait été utilisée en sciences avant que les premiers ordinateurs n'apparaissent (dans l'acception d' « imitation d'un processus par un autre »), c'est avec la disponibilité de systèmes informatiques de plus en plus puissants que cette pratique est devenue partie intégrante de la panoplie de nombreuses disciplines scientifiques, à tel point que le terme même de simulation ne désigne plus maintenant que des simulations informatiques. Ce sera d'ailleurs Je cas dans la suite de notre propos. Si nous nous référons à la littérature contemporaine sur le sujet, un rapide parcours des nombreuses définitions proposées pour le terme de simulation fait apparaître que cette activité comporte au moins trois grandes Acceptions :

- La première, populaire dans les sciences sociales, la confond presque intégralement avec l'activité de construction de modèles dynamiques, donc considère que la simulation est un sous-ensemble de l'activité de modélisation définie plus haut.

- La deuxième, plutôt portée par les sciences expérimentales comme la physique ou la biologie, fait de la simulation une activité à part qui, « partant d'un modèle [Dynamique], se donne comme but de construire des dispositifs expérimentaux qui feront réagir le modèle de la même façon que Je système réel sur des aspects importants ».

- La troisième, enfin, considère que la simulation est à un modèle dynamique ce quel expérimentation est à un système réel. Dans cette perspective, où le modèle représente une certaine forme de compréhension d'un système de référence, la simulation est un ensemble de

tests grâce auxquels il est possible pour un scientifique de raffiner cette compréhension et d'en tirer des connaissances nouvelles. [1]

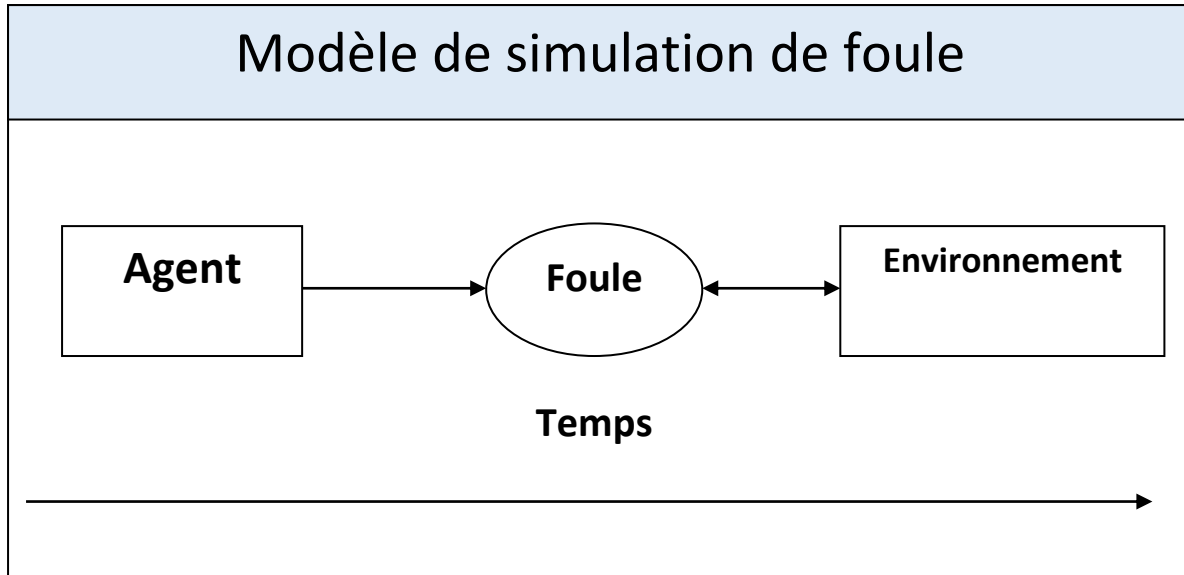


Figure 1.1. Un modèle de simulation de foule est composé d'une agrégation d'agents et de l'environnement qu'ils habitent. La simulation est ensuite réalisée au fil du temps.

### 3. Domaine d'applications

La modélisation et la simulation de foules sont désormais devenues un problème de conception essentiel dans de nombreux domaines, notamment la simulation militaire, la sécurité, l'ingénierie de la sécurité, la conception architecturale, le divertissement numérique, etc. dans des scénarios de maintien de la paix. La construction d'un pool d'individus humains et de leurs comportements dans un environnement virtuel a été appliquée pour identifier les risques ou défaillances éventuels dans un large éventail de situations de fusion et faciliter la conception de l'architecture afin d'assurer la sécurité Prenons quelques exemples : [3]

- ✓ **Évacuations 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 (ex. Figure 1.2) [2]



Figure 1.2. Est une évacuation en cas d'accident d'avion, (a) Dans le monde réel, (b) Dans le monde virtuel.

- ✓ **Grands événements:** les grands événements comme les rassemblements, les marches, les concerts, les concerts de rock et le football (ex. Figure 1.3) 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. [2]

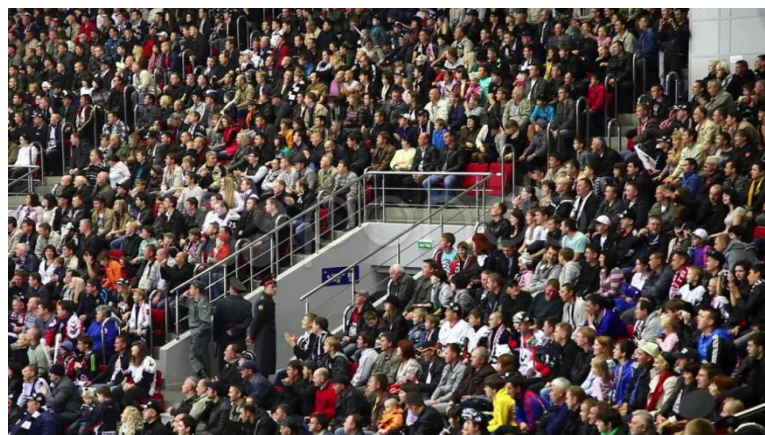


Figure 1.3. Un grand nombre de personnes se sont rassemblées pour jouer au football

- ✓ **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 pour assurer un environnement sûr et confortable aux grandes foules. [2]



Figure 1.4. Simulation de foule à l'intérieur d'un centre commercial ViLL UP

## 4. Définition de la foule

L'achèvement d'une revue de la littérature ne met en évidence aucune définition spécifique relative au concept de foule, plus précisément, il existe un certain nombre de définitions identifiées, toutes qui ont leurs propres comportements et caractéristiques. Un certain nombre d'autres chercheurs ont utilisé les définitions de «foule», qui sont toutes considérées comme ayant diverses caractéristiques communes, telles que la conceptualisation d'une foule regroupant un grand nombre de personnes dans un lieu spécifique pendant une période donnée et la démonstration de comportements et d'objectifs particuliers. Dans ces articles, une compréhension plus claire du terme est utilisée. Les éléments suivants sont adoptés tout au long de la thèse: Un groupe important d'individus hétérogènes présents dans un environnement physique commun partageant un objectif commun. Les membres de la foule peuvent agir différemment quand ils sont seuls ou en petit groupe. [3]

Donc les définitions d'une foule sont encore controversées. Le terme est parfois utilisé sans définition concrète. L'une des définitions d'une foule est qu'il s'agit d'un groupe



d'individus en interaction formant un système social. Les foules ne doivent pas être considérées comme des entités homogènes car elles sont composées de plusieurs individus aux motivations différentes. Selon les données empiriques recueillies par les scientifiques, les foules sont davantage un processus qu'elles ont un début, un milieu et une fin. Les processus cognitifs et sociaux impliqués dans le mouvement de la foule nous permettent de le décrire à différents niveaux [4].

- physique / physiologique
- psychologique
- social

## 5. Types de foules

La plateforme qui est l'objet de cette étude devra rendre compte des modèles déjà réalisés et donc de tous les types de foules qu'ils permettent de représenter. Le principal problème à résoudre est encore (voir réalisme microscopique et macroscopique) de faire le lien entre le comportement des agents eux-mêmes (échelle microscopique) et le comportement émergent de la foule (échelle macroscopique). Les relations entre ces deux niveaux de comportements varient en fonction du type de foules étudié. [5]

### 5.1. 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, le réalisme macroscopique est primordial et les comportements des agents en général très simples sont souvent limités à ce qui est nécessaire pour qu'ils soient à même de jouer leur rôle dans le scénario. Par exemple, dans les Boids de Reynolds, la foule doit respecter un facteur donné de cohésion et de dispersion. Ces contraintes sont traduites au niveau microscopique des agents et déterminent leur comportement commun (par exemple, se situer à une distance minimale et maximale des autres agents ou suivre un leader matérialisé ou non). [6]



Figure1. 5.Foules homogènes

## 5.2. 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 macroscopique de la foule. En d'autres termes, « l'histoire racontée » par la foule est limitée à la juxtaposition des « histoires individuelles » (figure 1.6) (Voir par exemple, les agents autonomes qui évoluent dans une gare).

Dans ces conditions, le réalisme microscopique ne contredit pas le réalisme macroscopique : comme les agents n'ont rien à faire en commun, presque aucun problème ne peut survenir quand on les met ensemble à part les problèmes de partage de ressources (notamment les problèmes de collision) et les situations de blocage qui sont communs à toutes les foules. Le concepteur a alors la liberté de construire des modèles d'agents complexes, des modèles cognitifs avec des capacités d'apprentissage. En fait, l'animation comportementale de collections d'agents revient quasiment à animer les agents individuellement. Dès lors qu'une collection d'agents ne possède pas de propriétés macroscopiques, 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.

[6]





Figure 1.6. Collection d'agents

### 5.3. 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) (Figure 1.7). 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.

En général, dans le cadre de l'animation comportementale, soit le scénario est faible (il ne nécessite pas de comportement spécifique. Par exemple, des personnes qui se déplacent ensemble : familles, groupes d'amis avec un « meneur ».), soit le groupe est fonctionnellement structuré préalablement. Cela signifie que les rôles qu'il est nécessaire d'attribuer aux membres du groupe pour satisfaire le scénario sont donnés dès le départ par le concepteur de l'application. Dans les deux cas, il n'y a pas de conflit entre le réalisme microscopique et macroscopique.

Cependant, il est envisageable que le scénario soit contraignant (par exemple une tâche à résoudre par le groupe) et qu'aucune structure fonctionnelle ne soit précisée par le concepteur. Les membres du groupe ont alors à négocier leurs rôles respectifs pour remplir les conditions posées par le scénario.

Ce genre de tâche requiert des capacités cognitives de haut niveau, ce qui conduit les auteurs à considérer que les groupes sont les foules les plus complexes. Les groupes de ce

type sont surtout traités en intelligence artificielle et les modèles produits sur cette base sont peu opératoires à cause de leur complexité. [6]



Figure 1.7. Groupe

## 6. Les Comportements

Le comportement fait référence aux décisions et à l'ensemble des actions ou réactions que les agents peuvent faire ou avoir dans différentes situations. Simuler le comportement d'un personnage est un niveau d'intelligence artificielle supérieur à la simple planification d'un objectif spécifique ou à la réaction à un objectif donné. Cela implique un état d'esprit, un objectif plus complexe et même des stratégies. Les interactions entre agents à ce stade peuvent aussi être plus complexes, avec des stratégies de collaboration visant un objectif commun. [6]

La compréhension des comportements humains nécessite des compétences dans des domaines aussi variés que les neurosciences, la psychologie ou la biologie comportementale. Dans les théories sur les fonctions cérébrales et sur le comportement, deux types d'approches peuvent être distinguées. La première que nous appelons approche symbolique cherche à décrire les processus mentaux sous la forme de symboles, de jugements et de mécanismes d'inférence logique. La seconde, que nous dénommons approche systémique, se focalise plus sur des notions de transmission de signal dans des réseaux, de contrôle et de retour d'état. Les deux approches ont des avantages différents : la première permet de s'abstraire des processus biophysiques présents au sein du cerveau et de proposer une modélisation du comportement basée sur les compétences, tandis que la seconde approche plus proche des données neurophysiologiques sera plus adaptée à la modélisation des activités neuronales. Les deux

approches peuvent être utilisées pour la modélisation de l'ensemble des fonctions cérébrales. Nous allons essayer dans cette section de rendre compte d'un certain nombre de résultats issus des travaux de recherche des psychologues du comportement, principalement au sein de l'approche symbolique, dans le but de pouvoir définir ce que pourrait être un modèle crédible du comportement d'humanoïdes synthétiques.

Von Uexküll a défini l'environnement comme la partie du monde extérieur avec laquelle un organisme peut naturellement interagir. L'organisme humain est en interaction constante avec son environnement par le biais de capteurs et d'effecteurs, comme l'illustre la figure 1.8. Il existe plusieurs types de retour des effecteurs vers les capteurs :

- 1. l'homéostasie** : boucle de régulation interne de l'organisme correspondant au maintien des paramètres biologiques face aux variations du milieu ambiant.
- 2. le comportement d'acquisition** : partie du comportement utilisée pour améliorer la perception.
- 3. les interactions avec l'environnement** : boucle de retour la plus importante. [7]

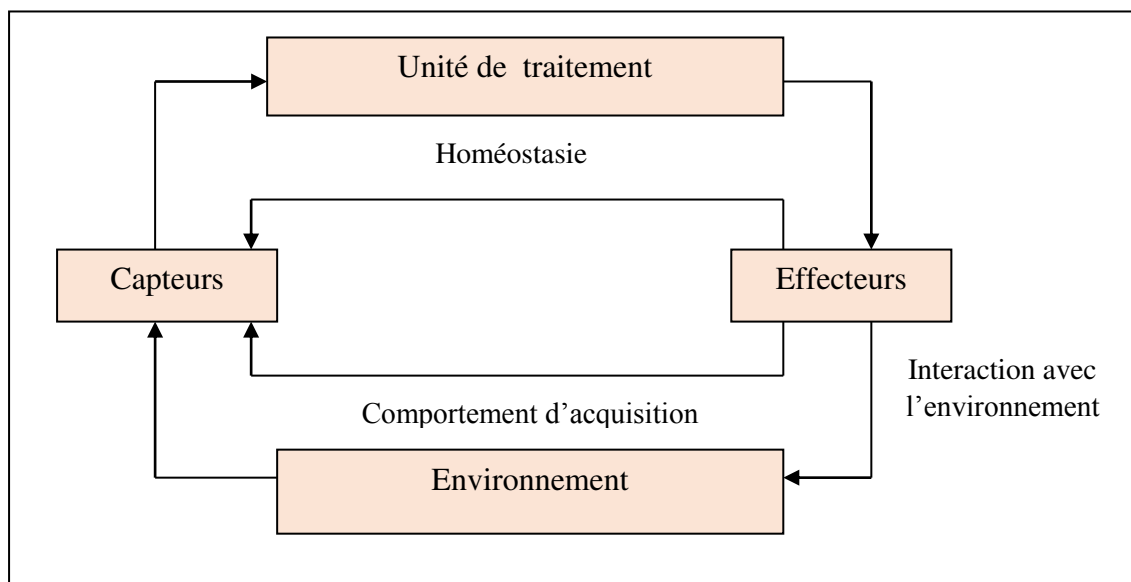


Figure 1.8 Les différentes boucles de rétro-action

## 7. Observations de la foule

Une liste des différentes observations faites sur la foule est donnée. Ces observations ont été utilisées par la suite pour proposer un modèle de mouvement de foule. [8]

### **Les caractéristiques du comportement des piétons, données dans de nombreux documents sont :**

- D'après, la vitesse moyenne des piétons en régime libre suivent une loi gaussienne de moyenne  $1.34 \text{ m.s}^{-1}$  et d'écart type  $0.26 \text{ m.s}^{-1}$ . Ces paramètres ont été recalculés à partir de données provenant de plusieurs pays sur des observations faites dans un couloir non encombré.
- D'après, un piéton se déplace à une allure souhaitée qui dépend de ses caractéristiques personnelles (son âge, son genre, sa taille, son état de santé, etc.), des caractéristiques de son voyage (sa destination finale, sa familiarité avec le chemin utilisé, la longueur du chemin, la prise en compte ou non de bagages, etc.), des propriétés de l'infrastructure traversée (son type, son état, son attractivité, sa capacité à servir d'abri, etc.), et finalement les caractéristiques de l'environnement (conditions climatiques, etc.).
- Les piétons sont adeptes du principe du moindre effort : ils n'aiment pas faire des détours ou se déplacer en sens inverse de la majorité des gens, même s'ils doivent aller dans une direction surpeuplée.
- En fonction de ses motivations, le piéton choisira de se déplacer selon le chemin le plus court, le plus rapide, ou le moins contraignant.
- Les piétons changent de direction le moins possible : ils préfèrent marcher sur une route droite plutôt que sinueuse.
- Les piétons aiment s'approprier un territoire : ils gardent une certaine distance entre eux et entre eux et les obstacles. Cette distance minimale dépend entre autres de la densité de la foule et de chaque individu.
- Pour avancer plus vite parmi une foule, un piéton peut se faufiler entre les autres piétons en pivotant son corps pour passer dans des espaces peu larges.

- les piétons ne se déplacent pas tel un fluide continu, mais en petits groupes espacés. La majorité des personnes constituant une foule sont des groupes (e.g. amis ou famille) composés de deux à quatre membres marchant comme « un seul homme ».
- un groupe séparé pour une certaine raison cherche à se reformer.
- un groupe organisé hiérarchiquement (e.g. une famille) a un comportement différent d'un groupe n'ayant pas de hiérarchie (e.g. un groupe d'amis).
- en cas d'embouteillage, les individus suivent la personne devant eux et créent une sorte de flux.
- dans le cas d'une foule voulant sortir d'une pièce en urgence, les interactions entre individus eux-mêmes et entre individus et obstacles peuvent créer de grandes pressions, ce qui a pour conséquence de blesser des individus ou encore détruire des obstacles (comme des barrières ou des grillages).
- en situation de panique, un individu devient nerveux, ce qui induit un manque de lucidité et un comportement autiste. Ce type de comportement est visible généralement dans des lieux clos (e.g. un avion).
- en situation d'urgence, un individu se déplace considérablement plus vite que la normale.
- en situation d'urgence, les individus tendent à développer un phénomène de mimétisme : ils agissent de la même façon que leurs voisins. [8]

### **Phénomènes d'auto-organisation observés :**

Plusieurs phénomènes d'auto-organisation sont observés dans le trafic piétonnier. Quelques uns de ces phénomènes sont retrouvés par certains modèles de foule. Ces phénomènes d'auto-organisation sont:

- L'effet "Faster is slower": quand la voie se rétrécit et qu'il y a un phénomène d'entonnoir, les individus sont plus nerveux et veulent avancer plus vite. Ils "poussent" les autres individus et donc le mouvement devient moins fluide, la foule est plus dense et le temps nécessaire à la traversée de l'entonnoir augmente.
- Le blocage et le phénomène d'arche (Figure 1.9) : quand une foule dense veut traverser un espace étroit tel qu'une porte, un blocage s'installe et une arche se forme autour de l'espace peu large.

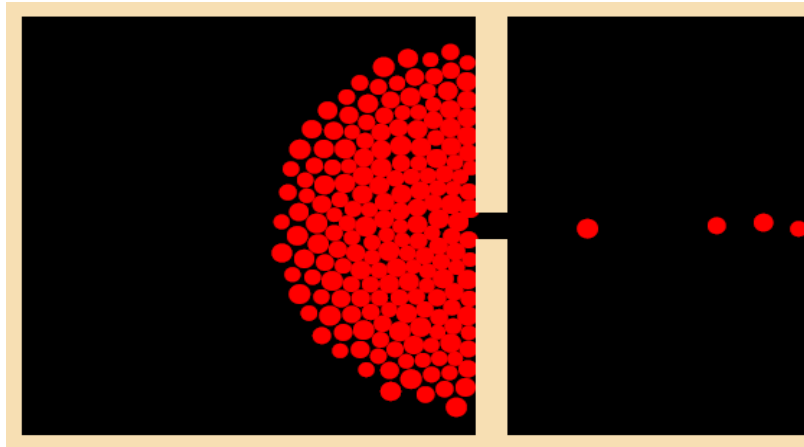


Figure 1.9. Phénomène d'arche d'après

Opposées, il se crée naturellement des lignes de piétons qui se suivent, ce qui permet de réduire les collisions entre piétons et d'augmenter leur vitesse de déplacement



Figure 1.10. Formation de ligne à contre courant d'après

- le phénomène d'oscillation (Figure 1.11) : lorsqu'une porte est traversée par deux foules se déplaçant en sens contraire, les piétons composants chaque foule la traversent en alternance et un phénomène d'oscillation se crée.



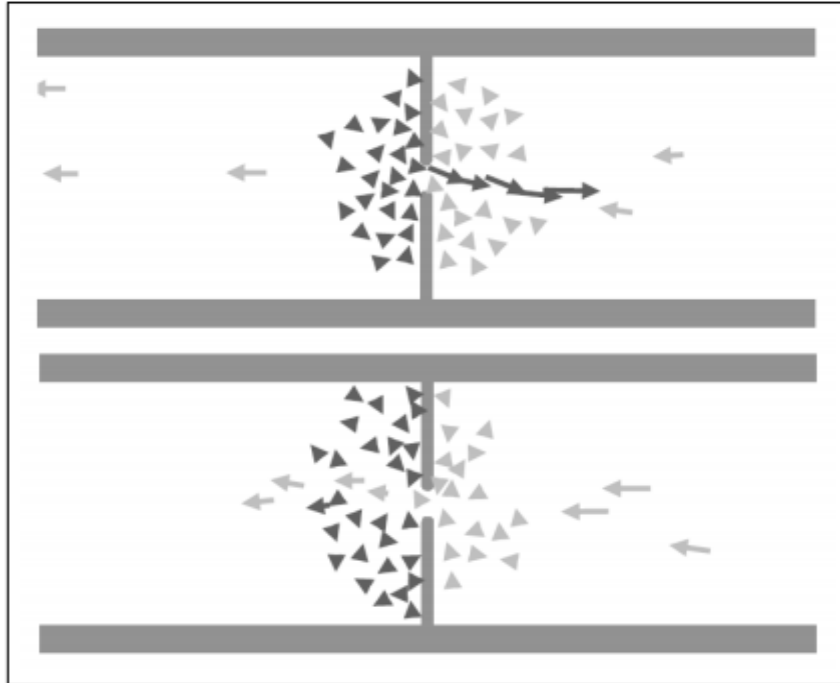


Figure 1.11. Phénomène d'oscillation d'après

- Le « corner hugging » (Figure 1.12) : lorsque des piétons tournent dans un angle, ils ralentissent et la densité de piétons augmente près de l'angle.



Figure 1.12. Corner hugging d'après

## **8. Conclusion**

Des simulations de foule précises sont un outil précieux dans la mesure où elles peuvent reproduire le comportement humain. Ces simulations permettent d'optimiser les ressources matérielles, leur valeur augmente avec la capacité de simuler un plus grand nombre d'agents, car la population mondiale ainsi que les tendances de la densité de population indiquent une réalité dans laquelle la gestion des problèmes liés à la foule sera de plus en plus courante.

## 1. Introduction

Ces dernières années, l'attention a été tant que les mouvements de foule, et ces foules ont de nombreux types et caractéristiques, et se compose d'un petit nombre d'individus ou d'un grand nombre d'individus.

L'étude du comportement de la foule se divise en deux parties: l'étude du comportement de chaque individu ou celle de la foule dans son ensemble, ce qui nous permet de présenter deux approches: une approche microcosmique et une approche macroscopique. C'est ce que nous allons apprendre en détail dans ce chapitre.

Ce chapitre est consacré à la présentation Deux approches de simulation sont présentées: microscopique et macroscopique et la comparaison entre deux approches.

## 2. Les approches de simulation

### 2.1. Les modèles microscopique

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) [9].



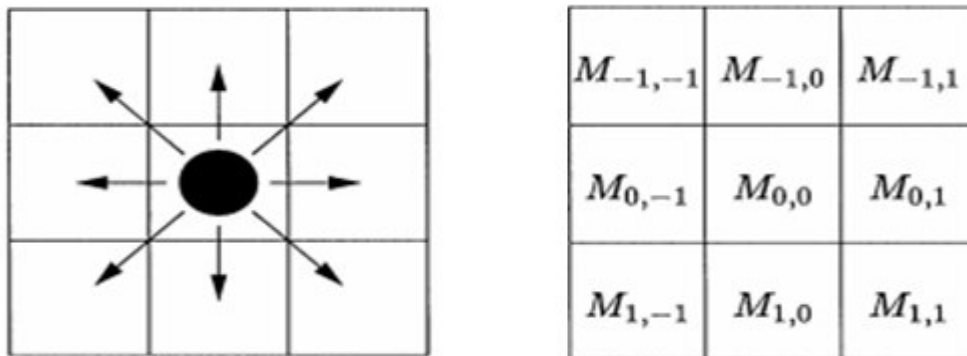
**Figure 2.1.Exemple montrant un modèle microcosmique où les actions représentent l'objectif de chaque individu.**

Dans les modèles microscopiques, le mouvement de chaque individu est représenté dans le temps et l'espace. Chaque individu a son propre comportement, ses propres décisions et interagit avec les autres. On peut classer ces modèles en 5 sous-catégories : les modèles à base de règles, les modèles de forces sociales, les modèles d'automates cellulaires, les modèles de choix discret et les modèles mathématiques. [9]

### 2.1.1. Automates cellulaires

Certains modèles, appelés automates cellulaires, sont basés sur une discrétisation de l'espace en cellules, souvent carrées mais parfois hexagonales ou octogonales. Leur principe repose sur le fait que chaque piéton occupe une cellule et ne peut se déplacer vers une autre cellule que si celle-ci est libre.

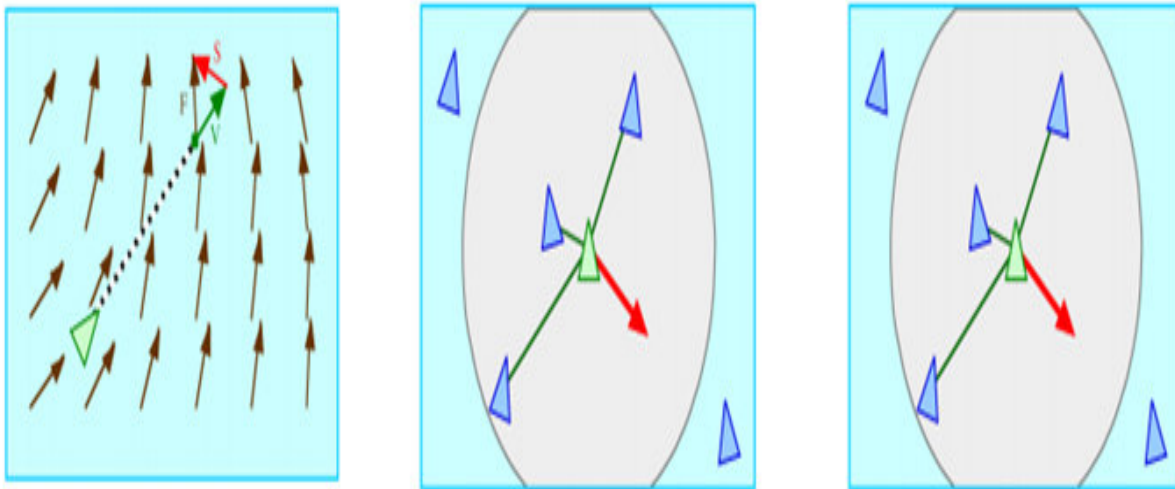
On présente ci-dessous un modèle où la structure spatiale de l'environnement est une grille bidimensionnelle. A chaque instant, chaque piéton a une direction de préférence qui permet de construire une matrice 3\*3 (représentant la cellule courante et chaque cellule adjacente, par le coin ou l'arête) contenant les probabilités de déplacement du piéton (Figures 2.2). Cette matrice permet de déterminer la prochaine cellule sur laquelle le piéton va se déplacer. Si celle-ci est occupée, le piéton va rester sur sa cellule. Ce modèle permet de reproduire la formation de lignes à l'intérieur d'un couloir. Afin de reproduire des phénomènes collectifs, un champ de potentiel a été ajouté à chaque cellule pour inciter les piétons à aller dans une direction. [9]



**Figure 2.2. Automates cellulaires Matrice 3\*3 des probabilités de la prochaine position d'un piéton.**

### 2.1.2. Modèles a base de règles

Les modèles à base de règles ont été introduits par Reynolds qui, en travaillant sur des animations cinématographiques, s'est intéressé à la simulation de foules d'animaux comme les bancs de poissons, les troupeaux de mammifères ou les nuées d'oiseaux. Les membres d'un groupe sont considérés comme des agents individuels et sont ainsi traités un à un. Chacun de ces agents est soumis à des règles : l'évitement de collisions, l'asservissement à la vitesse de ses voisins, et la tendance à rester au sein du groupe. Il propose ensuite un ensemble de règles qui décrivent différents comportements humains de base tels que l'atteinte d'une cible, l'évitement de collision, la poursuite, la cohésion de groupe ou le suivi de leader. Une combinaison de ces comportements de base permet de créer des comportements plus complexes. [9]



**Figure 2.3. Exemples de règles de comportement proposées par Reynolds.**

Trois règles sont proposées par C.Reynolds dans le cadre de l'animation de nuées Figure 2.3

- **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.

Les modèles à base de règles présentent l'avantage d'exprimer explicitement un comportement à travers une règle. Ces règles sont issues de l'observation et permettent en

général d'obtenir des comportements relativement réalistes. Des questions se posent cependant quant à la manière de combiner ces règles et sur les effets de leur composition ainsi que sur le domaine de validité et de la complétude des modèles.

### 2.1.3. Modèles a base de forces

Le modèle de force sociale est une approche microscopique pour simuler le mouvement piétonnier. Une force sociale (virtuelle) donnée est analogue à de vraie force telle que l'interaction répulsive, force de frottement, dissipation, il résout les équations du mouvement de Newton pour chaque individu. Ce modèle peut être appliqué avec succès pour simuler les scénarios de mouvement piétonniers réels.

Relativement aux autres modèles, les modèles de force sociale décrivent le comportement piétonnier de façon réaliste. Cependant, ils sont conçus pour être aussi simples que possible. Chaque agent est représenté dans la locomotion plane par un cercle avec son propre diamètre et le modèle décrit les coordonnées, les vitesses, et les interactions continues avec d'autres agents. Chaque paramètre de force a une interprétation réelle, et il est différent pour chaque piéton. Les forces sociales modèlent le comportement de foule humaine avec un mélange de facteurs socio-psychologique et physiques. Le modèle empiriquement dérivé le plus important de forces sociales est le modèle de Helbing. [9]

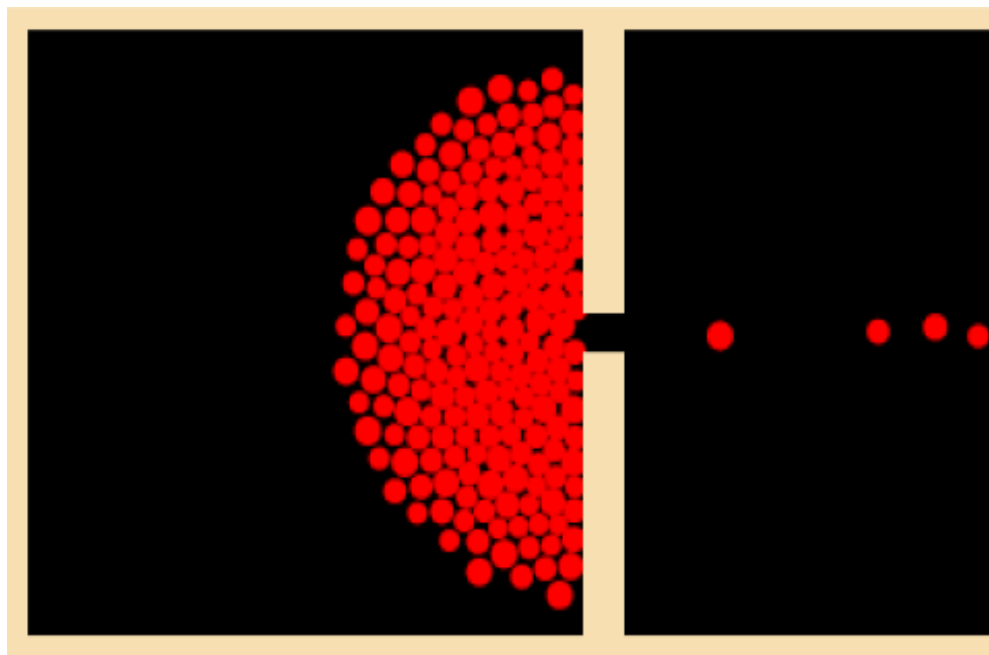
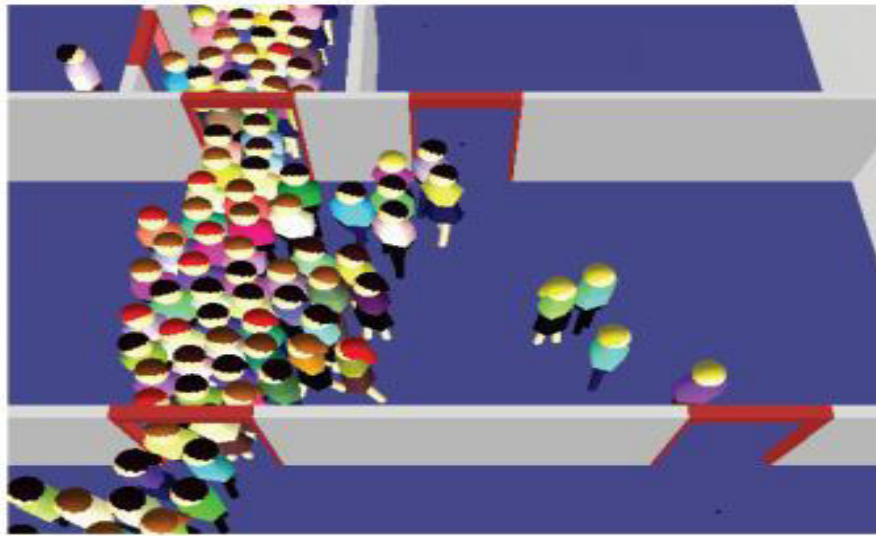


Figure 2.4.Exemple de simulation pour le modèle de forces sociales.





**Figure 2.5. Exemple Modèles à base de forces présente Simulation d'évacuation d'un bâtiment avec une approche hybride.**

En faisant une analogie avec la physique newtonienne, les modèles de forces considèrent qu'un piéton est soumis à des forces d'attraction et de répulsion qui agissent sur son accélération suivant la deuxième loi de Newton :

$$\sum F = m \cdot a \quad \text{Équation 1}$$

$\sum F$  : est la somme des forces appliquées à un corps de masse  $m$  et  $a$  son accélération. [9]

## 2.2. Les modèles macroscopique

Les modèles de simulation macroscopique sont historiquement les premiers modèles informatiques ayant permis des simulations de foules. En effet, ceux-ci simulent la totalité des individus par un ensemble de fonctions mathématiques, ne nécessitant qu'une puissance de calcul assez faible. Ainsi, ces modèles abandonnent tout comportement individuel évolué, au profit d'une simulation très rapide d'un grand nombre d'entités. Le but de ces modèles réside dans la caractérisation d'un phénomène Particulier généralement reproductible dans des conditions environnementales figées. [9]

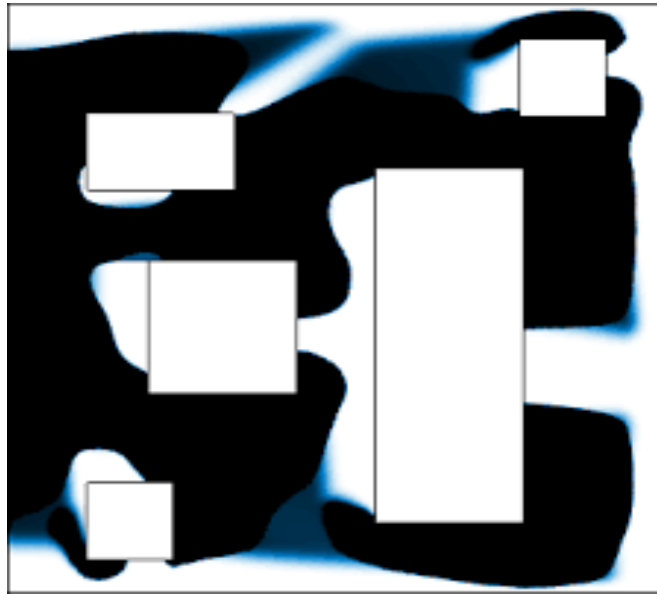


Figure 2.6. Exemple modélisation macroscopique.

Cette section traite de la dérivation du cadre mathématique approprié pour servir de paradigme général à la dérivation de modèles spécifiques. Classiquement, l'équation de conservation de la masse et l'équilibre du moment linéaire peuvent être utilisés.

Le mouvement des piétons présente des caractéristiques différentes de celles des voitures ou des autres véhicules. Les piétons ont plus de flexibilité pour se déplacer dans deux dimensions, ainsi que plus de souplesse pour s'arrêter dans les limites de la plage de vitesses admissibles, ce qui n'est pas le cas des véhicules. [10]

Cela est dû au vaste domaine de visibilité contrôlé par eux. L'état du système, en deux dimensions d'espace, est décrit par la densité de la foule et la vitesse moyenne: [10]

$$\mathbf{p} = \mathbf{p}(\mathbf{t}, \mathbf{x}, \mathbf{y}), \text{ Équation 2}$$

$$\vec{\mathbf{v}} = \vec{\mathbf{v}}(\mathbf{t}, \mathbf{x}, \mathbf{y}), \text{ Équation 3}$$

Tandis que le flux local est donné par:

$$\vec{\mathbf{q}} = \vec{\mathbf{q}}(\mathbf{t}, \mathbf{x}, \mathbf{y}) = \mathbf{p}(\mathbf{t}, \mathbf{x}, \mathbf{y}) \vec{\mathbf{v}}(\mathbf{t}, \mathbf{x}, \mathbf{y}), \text{ Équation 4}$$

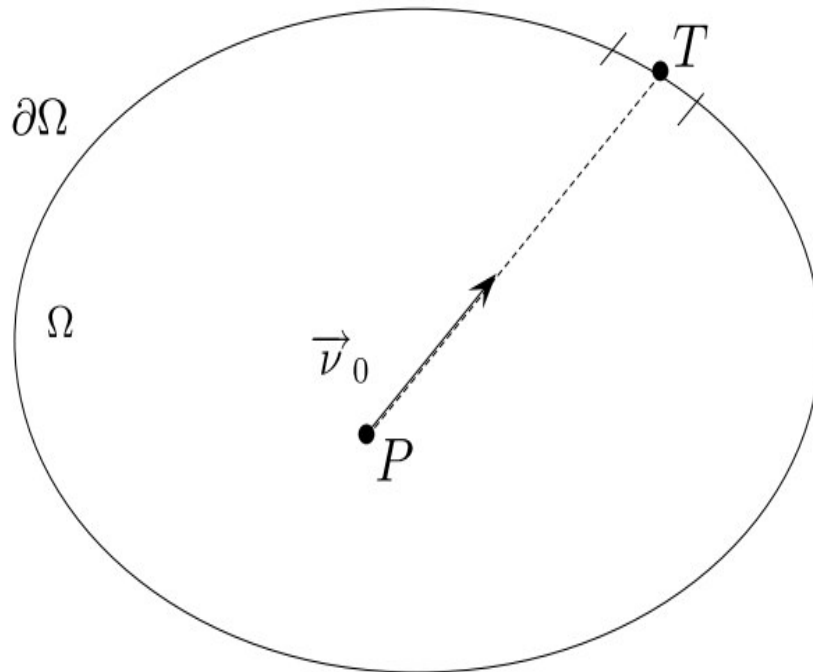


Figure 2.7. Géométrie du domaine occupé par la foule.

Reportez-vous à la Figure 2.7, considérons que la foule abonde à faire  $\Omega \subset \mathbb{R}^2$  principal, où  $\Omega$  est sa limite. La description générale du système est fournie par l'équation de conservation de la masse et l'équilibre du moment linéaire définie par le système d'équations aux dérivées partielles suivant: [10]

$$\begin{cases} \partial_t \rho + \nabla x \cdot (\rho, \vec{v}) = 0, \\ \partial_t \vec{v} + \nabla x \cdot \vec{\sigma} = \vec{F}(\rho, \vec{v}), \end{cases} \quad \text{Équation 5}$$

Où :

- $\vec{F}$  modélise l'accélération moyenne qui agit sur le bloc élémentaire d'individus en volume  $dx \, dy$ .
- $\partial_t$  la dérivée partielle du temps.
- La première équation étant la conservation des piétons et la dynamique de la seconde vitesse; les crochets sont utilisés pour indiquer que dans (l'équation 5),  $\vec{F} = \{F_x, F_y\}$  peut être, dans des modèles spécifiques, une fonctionnelle de ses arguments, par exemple, il peut s'agir d'une fonction non seulement de  $\rho$  et  $\vec{v}$  mais également de leur dérivée de l'espace. [10]

- Le système ci-dessus sert de cadre général pour la dérivation de modèles spécifiques qui peuvent être classés en tant que modèles de premier ordre si seule l'équation de conservation de masse est utilisée et est correctement fermée par un modèle phénoménologique reliant la vitesse aux conditions de densité locales (y compris les gradients de densité), tandis que les modèles de second ordre se réfèrent à la tout le système et sont obtenus en fermant l'équation de moment linéaire par un modèle phénoménologique du terme  $\vec{F}$ . [10]

### 2.2.1. Modèles macroscopiques de first-ordre

Comme nous l'avons déjà indiqué, une foule n'est pas simplement un ensemble de particules obéissant aux lois de la mécanique. Presque tous les modèles de foules humaines supposent que les piétons identifient dans leur mouvement un objectif précis, c'est-à-dire qu'ils sont «orientés vers un objectif». L'objet varie en fonction de la situation. En cas d'évacuation en cas d'incendie, par exemple, il est identifié par les portes d'urgence. Parfois, dans la même foule, différentes classes d'individus sont présentes, chacune ayant son propre objectif et ses caractéristiques de mouvement. [10]

Dans cette étude, nous traitons des foules humaines dans lesquelles tous les composants ont les mêmes caractéristiques et partagent le même objectif, appelé cible. Ce dernier peut être un objet ou une personne (ou groupe de personnes) que la foule veut atteindre ou se rapprocher. La "force" attrayante de la cible dépend des conditions de la foule, qui est plus grande en cas de panique. Parfois, à l'intérieur du domaine de flux, il existe un obstacle qui peut être identifié par un objet ou une personne (ou un groupe de personnes) que la foule souhaite éviter ou aller plus loin. Les effets répulsifs de tels obstacles doivent également être inclus dans le modèle. [10]

Lorsqu'on élabore un modèle macroscopique de flux de foule, il est nécessaire de supposer que non seulement les individus, mais aussi la foule dans son ensemble, malgré ses attributs communs, a sa propre raison. Par exemple, le modèle doit être doté d'un mécanisme permettant à l'information d'être transmise à un seul élément de la foule (c'est-à-dire un individu qui peut voir plus loin que les autres) est transmise à ses voisins, ce qui affecte non seulement le mouvement de cette personne mais aussi de celui de tout le quartier.

Une observation préliminaire, toujours en attente de la dérivation des modèles, est que les piétons ont une cible à atteindre, par exemple un point T de la limite correspondant à la sortie. Par conséquent, étant donné un point  $P = \{x, y\}$  à l'intérieur de  $\Omega$ , il est utile, pour

les calculs développés dans la section suivante, de définir le vecteur unitaire de P à la cible T, comme indiqué sur la Figure 2.8. Le calcul du vecteur unitaire  $v_0$ , en fonction de la géométrie du système, est simplement le suivant: [10]

$$\vec{v}_0(x, y) = \vec{v}_{x0}(x, y) + \vec{v}_{y0}(x, y), \text{ Équation 6}$$

Où :

$$\vec{v}_{x0} = \frac{x-x_T}{\sqrt{(x-x_T)^2+(y-y_T)^2}} \vec{i}, \text{ Équation 7}$$

Et :

$$\vec{v}_{y0} = \frac{y-y_T}{\sqrt{(x-x_T)^2+(y-y_T)^2}} \vec{j}, \text{ Équation 8}$$

Où la direction du vecteur est simplement identifiée par les coordonnées des points P et T. Bien entendu, les piétons peuvent avoir une cible à l'intérieur du domaine  $\Omega$ , de simples modifications techniques sont nécessaires pour prendre en compte ce cas. L'énoncé des problèmes mathématiques nécessite des conditions aux limites appropriées, sauf si la modélisation fait référence à des foules dans des domaines non bornés. Cependant, il est toujours raisonnable que la foule ait une cible. [10]

### 2.2.3. Modèles macroscopiques de second-ordre

Cette section traite de la dérivation de modèles, c'est-à-dire de modèles avec accélérations. Tous les modèles consistent en deux équations données dans un système 2D d'équations différentielles partielles avec une relation phénoménologique décrivant l'accélération 2D moyenne par laquelle la foule modifie sa propre vitesse:  $\vec{F} = \{F_x, F_y\}$  où les composantes de F peut dépendre de la densité locale, des gradients de densité, de la vitesse et de la position de la foule:  $\vec{F} = \vec{F} [\rho, \vec{v}, v_0]$ , où les crochets indiquent la dépendance fonctionnelle. [11]

Différentes classes de modèles peuvent être identifiées selon différentes manières de modéliser l'accélération susmentionnée. Plus précisément, deux catégories de modèles sont considérées ici simplement identifiées par la manière dont les piétons sélectionnent leur direction de mouvement. En détails: [11]

- **Classe I:** Cette catégorie fait référence aux systèmes dans lesquels les piétons se déplacent le long de lignes droites vers la cible.

La vitesse des piétons est liée à la densité locale et cherche à minimiser le temps de déplacement lorsque les individus se dirigent vers une cible spécifique dans la direction  $\vec{v}_0(x, y)$ .

Leur accélération consiste en deux contributions:

1. La direction et la vitesse de la balance dépendent de la densité locale et sont orientées vers  $\vec{v}_0(x, y)$ . [11]
2. Le deuxième terme pour le travail des gradients de densité  $\vec{v}_0$ .

La structure formelle du système correspondant à la conservation de la masse et à l'équilibre linéaire du moment est la suivante:

$$\begin{cases} \partial_t \mathbf{p} + \partial_x(\mathbf{p}v_x) + \partial_y(\mathbf{p}v_y) = \mathbf{0} \\ \partial_t v_x + v_x \partial_x v_x + v_y \partial_y v_x = F_{1x}(X, \mathbf{p}, \vec{v}) + F_{2x}(X, \mathbf{p}, \nabla v_0 \mathbf{p}) \\ \partial_t v_y + v_x \partial_x v_y + v_y \partial_y v_y = F_{1y}(X, \mathbf{p}, \vec{v}) + F_{2y}(X, \mathbf{p}, \nabla v_0 \mathbf{p}) \end{cases} \quad \text{Équation 9}$$

$$\partial_t \mathbf{p} + \partial_x(\mathbf{p}v_x) + \partial_y(\mathbf{p}v_y) = \mathbf{0}, \quad \text{Équation 10}$$

**Équation 10 :** Ce terme correspond à l'adaptation à la vitesse ou aux changements de vitesse car la vitesse dépend de la densité locale où plus la densité de la limite de vitesse est grande et si la densité diminue, la vitesse augmente, Le deuxième terme est l'effet des gradients de densité locaux. [11]

Et l'inclusion de celui-ci au-dessus de l'expression formelle qui génère le prochain système de vecteur : [11]

$$\begin{cases} \partial_t \mathbf{p} + \nabla \mathbf{x} \cdot (\mathbf{p} \vec{v}) = \mathbf{0}, \\ \partial_t \vec{v} + (\vec{v} \cdot \nabla \mathbf{x}) \vec{v} = \alpha (v_e(\mathbf{p}) \vec{v}_0 - \vec{v}) - \frac{k^2(\mathbf{p})}{\mathbf{p}} \nabla v_0 \mathbf{p}, \end{cases} \quad \text{Équation 11}$$



Conditions d'accélération de la vitesse :

$$\vec{F}_1 = \alpha \left( \mathbf{v}_e(\mathbf{p}) \vec{v}_0 - \vec{v} \right), \text{ Équation 12}$$

$$\vec{F}_2 = \frac{k^2(\mathbf{p})}{p} \nabla v_0 \mathbf{p}, \text{ Équation 13}$$

Où  $\alpha$  est une constante représentant l'inverse du temps de relaxation de  $\vec{v}$  vers la vitesse d'équilibre généralisée  $v(\mathbf{p}) \vec{v}_0$ .

La classe de modèles ci-dessus peut être encore affinée en prenant les gradients de la longueur de la vitesse moyenne locale.

- **Classe II :** Dans cette catégorie, nous voyons les modèles de piétons qui se déplacent toujours vers l'objectif visé et gravitent autour de chemins de faible gradient de densité. [11]

Évitez les zones à haute densité tout en choisissant des chemins optimaux dans leur zone de visualisation.

Les piétons ont un champ de vision limité et leur vision de la densité est un champ visuel limité en déterminant la direction du chemin et la zone de vision, en tenant compte du fait qu'ils sont techniquement connectés à certains.

Définissons-le:

$$\gamma = \arctan \left( \frac{v_{0y}}{v_{0x}} \right), \text{ Équation 14}$$

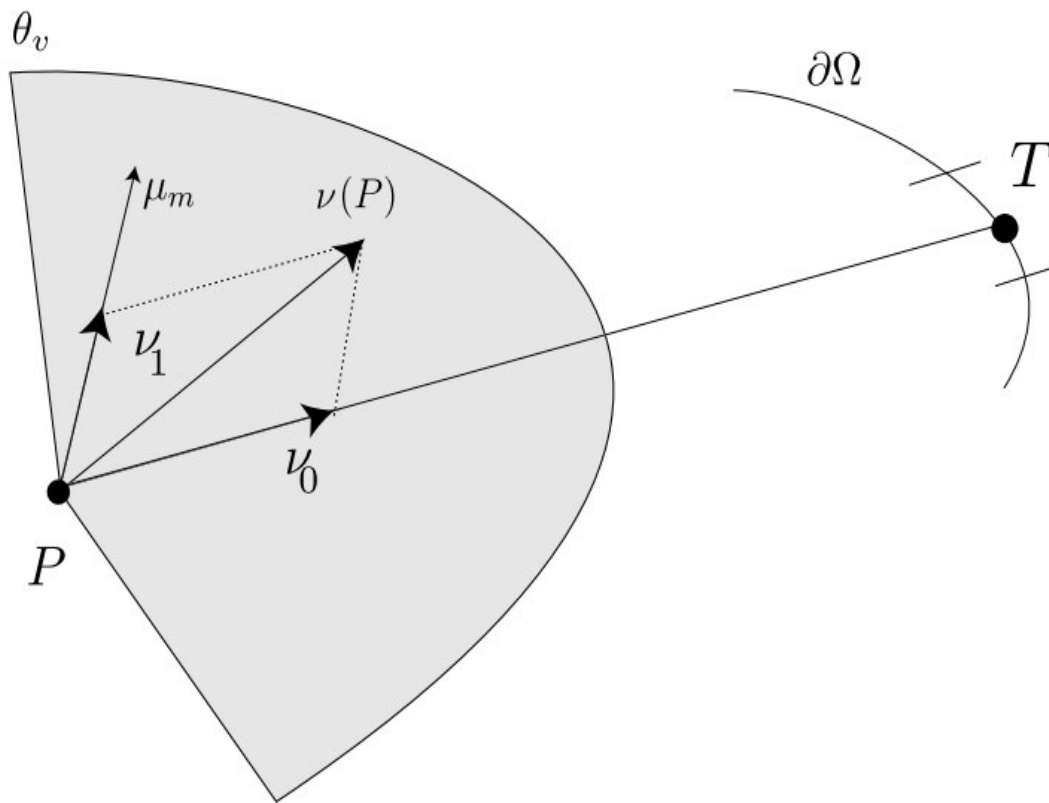


Figure 2.8. Cible et zone de visibilité.

L'angle qui caractérise la direction du vecteur  $\vec{\nu}_0$  et  $\theta_v$  l'angle maximal de visibilité du piéton.

Les modèles mathématiques sont:

$$\begin{cases} \partial_t \mathbf{p} + \nabla \mathbf{x} \cdot (\mathbf{p} \vec{\nu}) = 0, \\ \partial_t \vec{\nu} + (\vec{\nu} \cdot \nabla \mathbf{x}) \vec{\nu} = \vec{\mathbf{F}}[\mathbf{p}, \vec{\nu}] = \alpha (\mathbf{v}_e(\mathbf{p}) \vec{\nu}_0 - \vec{\nu}) - \frac{k^2(\mathbf{p})}{p} \nabla \vec{\nu} \mathbf{p}, \end{cases} \quad \text{Équation 15}$$

- **Classe III:** la troisième classe de modèles contient un terme de «pression» qui permet à l'équation du momentum de prédire la réponse attendue du comportement de la foule lorsque le temps et l'espace changent.

Notre modèle de classe III est basé sur un modèle de flux de trafic 1D proposé par Aw et Rascal. [11]

- La première équation est l'équation de loi de conservation bidimensionnelle donnée par :

$$\partial_t \mathbf{p} + \partial_x(\mathbf{p}v_x) + \partial_y(\mathbf{p}v_y) = \mathbf{0}, \quad \text{Équation 16}$$

- La seconde équation est obtenue en appliquant la dérivée convective sur les termes de pression pour le cas 2D et est donnée par :

$$\partial_t(v_x + P_1(\mathbf{p}, v_x)\vec{v}_0) + v_x \partial_x(v_x + P_1(\mathbf{p}, v_x)v_{x0}) + v_y \partial_y(v_x + P_1(\mathbf{p}, v_x)v_{x0}) = \mathbf{p}A_1[\mathbf{p}, \vec{v}], \quad \text{Équation 17}$$

$$\partial_t(v_y + P_1(\mathbf{p}, v_y)\vec{v}_{y0}) + v_x \partial_x(v_y + P_1(\mathbf{p}, v_y)v_{y0}) + v_y \partial_y(v_y + P_1(\mathbf{p}, v_y)v_{y0}) = \mathbf{p}A_1[\mathbf{p}, \vec{v}], \quad \text{Équation 18}$$

- Donc le système de classe III peut être écrit comme suit:

$$\begin{cases} \partial_t \mathbf{p} + \nabla \mathbf{x} \cdot (\mathbf{p} \vec{v}) = \mathbf{0}, \\ \partial_t(\vec{v} + P(\mathbf{p}, v_x)\vec{v}_0) + (\vec{v} \cdot \nabla \mathbf{x})(\vec{v} + P(\mathbf{p}, v_x)\vec{v}_0) = \mathbf{p}A_1[\mathbf{p}, \vec{v}], \end{cases} \quad \text{Équation 19}$$

### 3. comparaison entre Le modèle microscopique et modèle macroscopique :

Comparons l'évolution des deux modèles pour plusieurs pas de temps. Au début de l'évacuation (voir la Figure 2.9 en haut), la formation des zones saturées est très proche dans les deux modèles. On remarque la formation des mêmes lignes de séparation, et les zones vides sont sensiblement situées aux mêmes endroits. Cependant, le comportement au niveau de la sortie est très différent pour les deux modèles. En effet, le modèle macroscopique est beaucoup plus fluide en amont de la sortie, et l'évacuation s'y fait donc plus rapidement (voir la Figure 2.10 au milieu et en bas). Ce comportement est expliqué plus en détails dans la section suivante. [12]

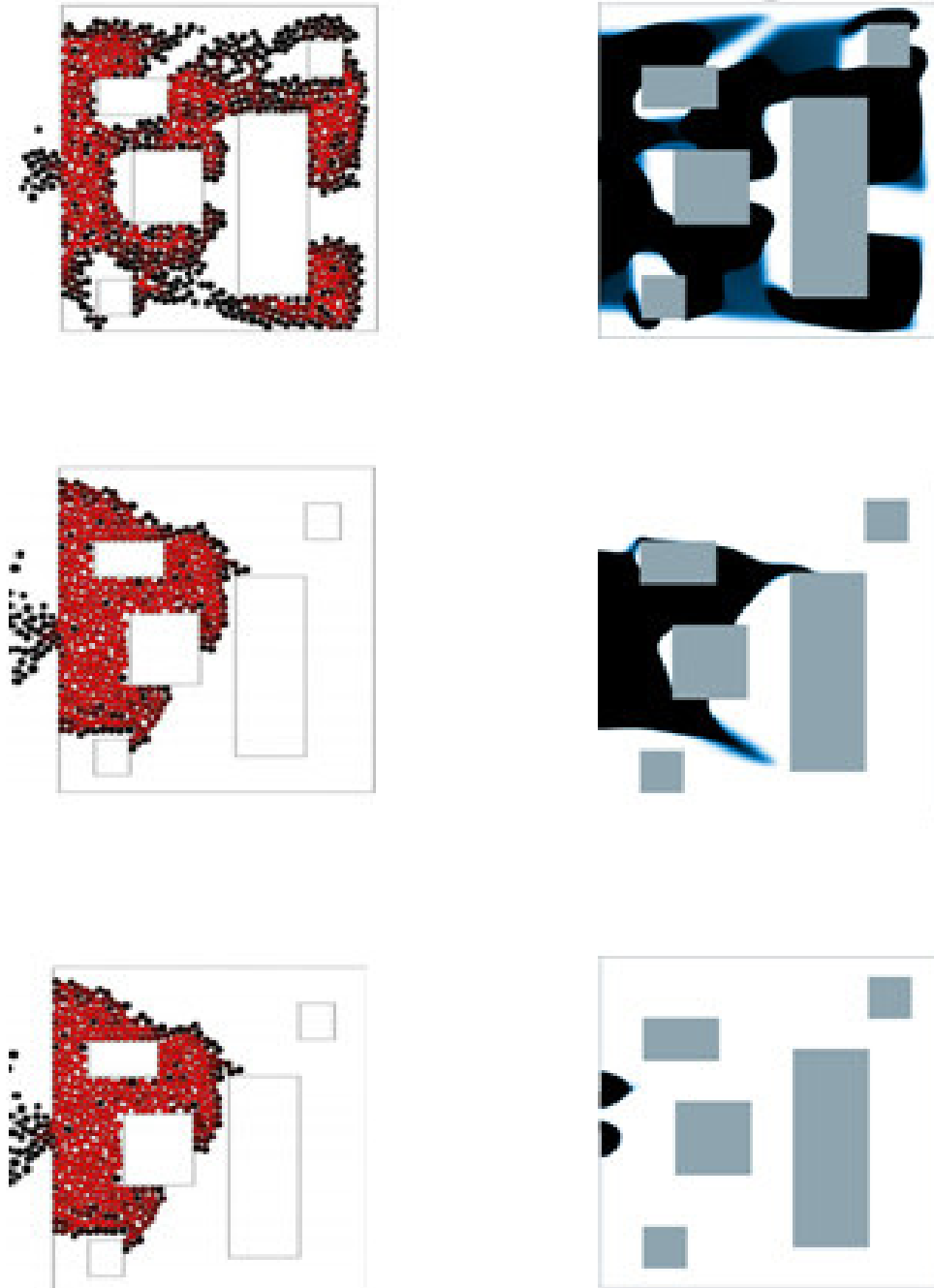


Figure 2.11.comparaison entre Le modèle microscopique et modèle macroscopique en cas d'évacuation

Evacuation d'une pièce comportant 5 obstacles : configurations microscopiques (à gauche) et macroscopiques (à droite) pour différents pas de temps.

Les deux modèles présentent la même allure générale, mais ont des comportements très différents en particulier au niveau des sorties.

Différences : modèle macroscopique plus "fluide"

- pas de formation d'arches bloquées
- temps de sortie allongé lorsqu'on ajoute un obstacle devant la sortie

## **4. Conclusion :**

Piétons veulent atteindre leur objectif dans un domaine particulier, mais un obstacle ou peut trouver la source du risque d'essayer de rester loin d'eux.

Lors de la construction du modèle, alors il est nécessaire de prendre en compte l'existence de ces obstacles et de l'influence et le comportement des piétons est influencé par deux facteurs opposés le premier facteur qui veut atteindre leur objectif dans les plus brefs délais et le deuxième facteur de la peur qui les pousse à éviter les dangers potentiels.

## 1. Introduction

Nous avons vu dans les premier et deuxième chapitres quelques définitions importantes telles que le comportement de la foule, l'environnement virtuel, qui sont liées les unes aux autres, car afin de produire un comportement humain dans un comportement humain réel (éviter les collisions, etc.), c'est ce qui est décrit dans ce chapitre objectif ce travail, conception Divisé en deux parties conception Global et conception détaillée, conclusion .

## 2. Objectif

Ce sujet se situe dans le contexte de la modélisation mathématique de la foule de piétons et s'intéresse à l'évaluation de la capacité des piétons à reproduire collectivement des comportements humains.

La modélisation mathématique des mouvements de foule est au centre de nombreux travaux depuis quelques décennies. En effet, les études de sécurité lors de la construction de bâtiments ou de l'organisation d'événements font de plus en plus appel à des modèles théoriques pour évaluer les risques en cas d'évacuation.

Nous proposons un modèle macroscopique (la foule est représentée par une densité de personnes)

- ✓ Chaque personne tente d'atteindre un objectif géographique.
- ✓ Les personnes cherchent à marcher à la vitesse la plus élevée possible.
- ✓ Il existe des endroits dits inconfortables que les piétons vont chercher à éviter.
- ✓ Le piéton cherchera à emprunter le chemin le moins "coûteux", en fonction de sa longueur, de son temps de parcours et de son niveau d'inconfort.

## 3. Conception

La phase de conception est la phase la plus importante pour identifier les composants et les unités de base du système et ses interactions afin d'obtenir un bon résultat et de déterminer les moyens les plus importants d'écrire le programme. Un bon design est la clé du développement du programme Dans cette section, nous allons présenter tout d'abord la conception globale de notre système (montrant ses fonctions majeures), ensuite nous présentons aussi le raffinement des différentes fonctions assurées par le système.



### 3.1. Conception Global

Nous proposons la structure générale de notre système proposé pour simuler le déplacement de la foule virtuelle dans un environnement virtuel. Par conséquent, la structure est illustrée dans le schéma ci-dessous (figure 3.1). Les piétons ont la même orientation globale et le même objectif, donc aussi ils ont marché dans un même groupe.

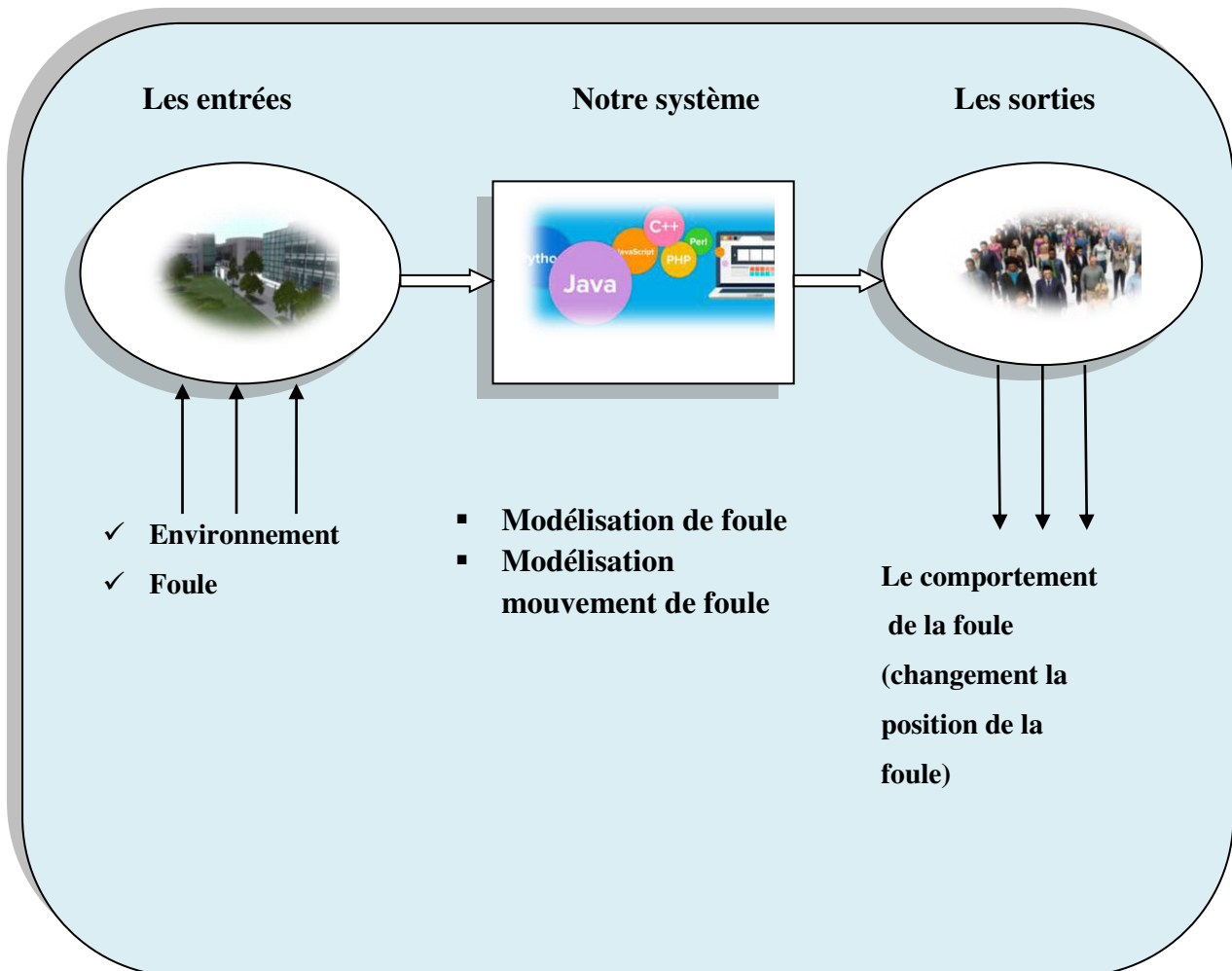


Figure 3.1. structure générale de notre système

#### 1. Les entées du système

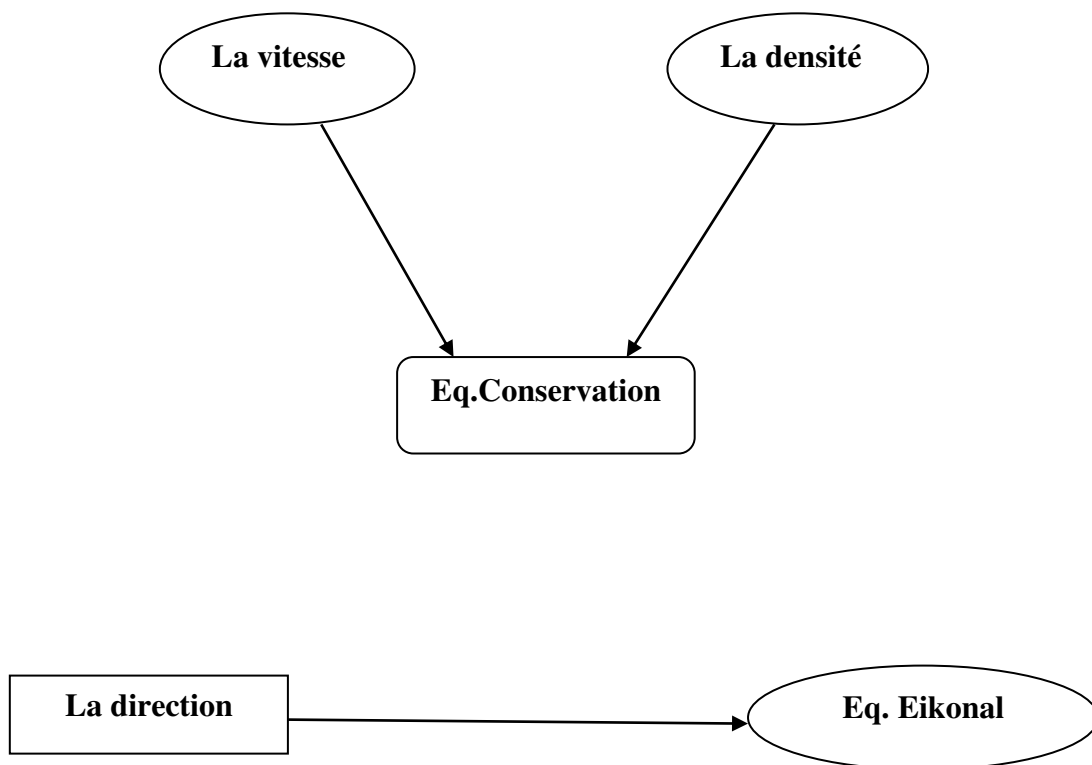
- **Environnement** : Est l'endroit où se trouve l'humain virtuel, conçu selon les besoins. L'environnement est représenté par des modèles tridimensionnels (mur, obstacles,...)

- **Foule virtuel** : Une foule est un groupe 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.

## 2. Notre système

Nous utilisons trois équations :

- ❖ **La densité** : nombre de piéton se trouve dans environnement virtuel.
- ❖ **La vitesse** : Est la vitesse de foule.
- ❖ **Flux** : est le flux de foule dans environnement virtuel.



## 3. Les sorties

- **Le comportement de la foule** : Changement la position de la foule

### 3.2. Conception détaillée

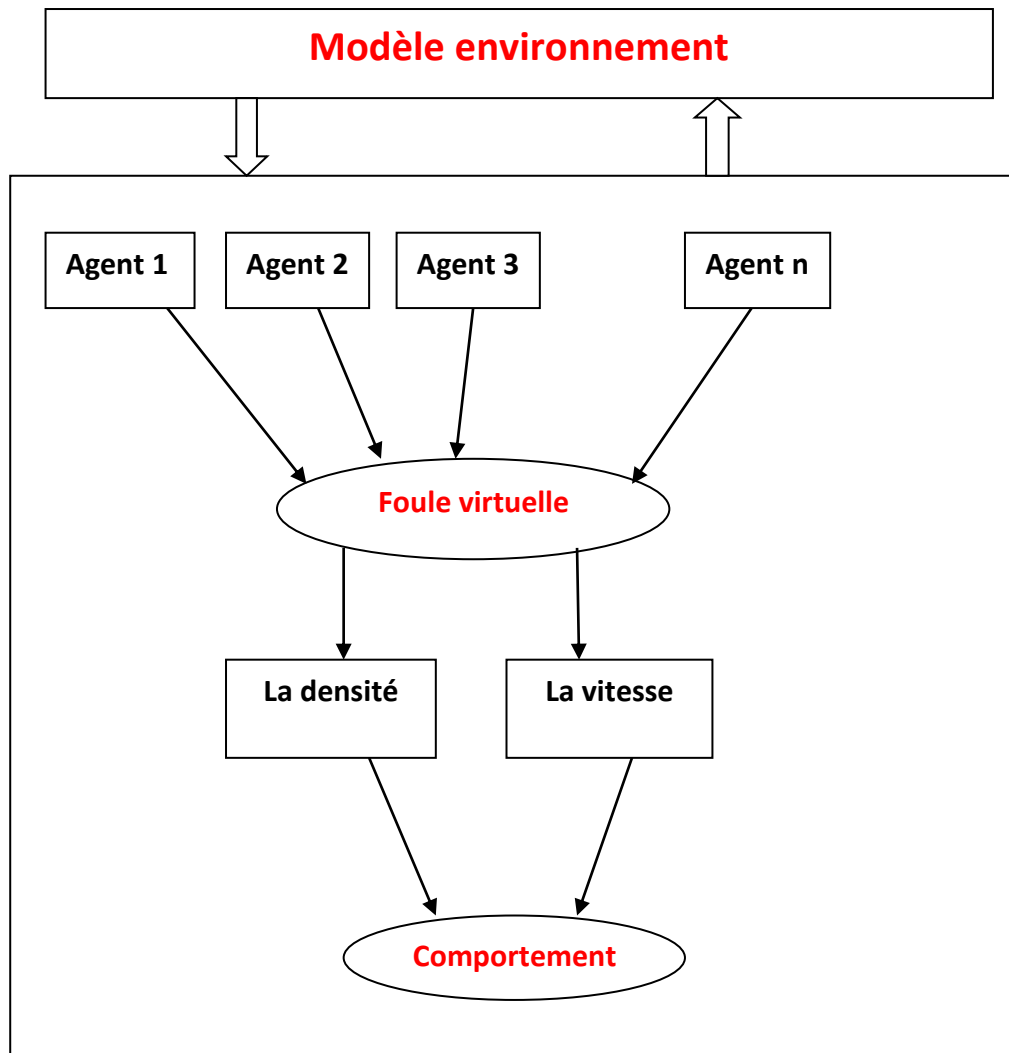


Figure 3.2. Conception détaillée de la structure dont nous avons besoin.

Nous avons une conception détaillée que nous utilisons comme indiqué dans figure 3.2 lorsque nous avons un environnement virtuel et nous allons connaître sa conception en détail. Nous trouvons dans l'environnement une foule composée d'un certain nombre d'individus caractérisés par la vitesse et l'intensité, et dont l'objectif est que la foule veuille l'atteindre.

### 3.2.1. Modèle environnement

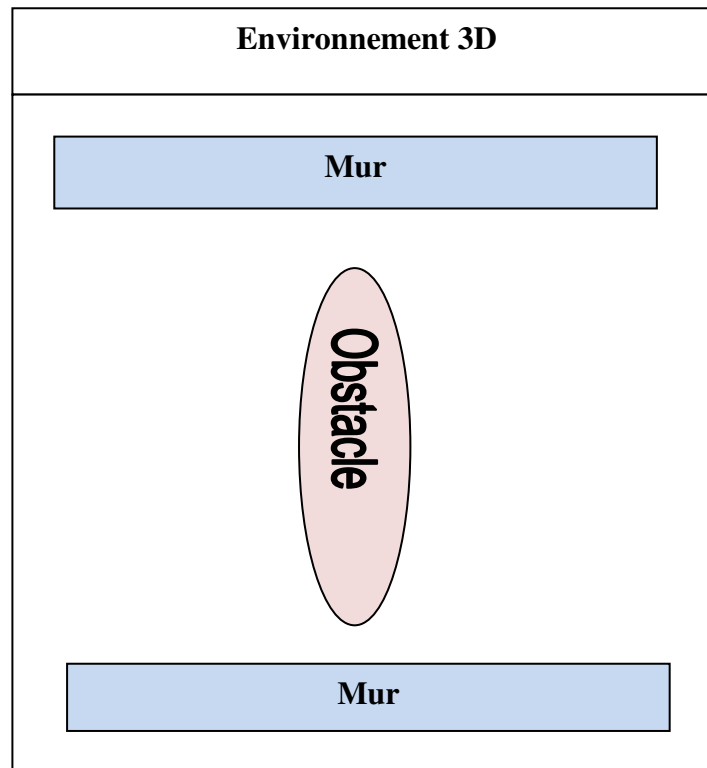


Figure 3.3. La conception de l'environnement virtuel

Nous concevons un environnement virtuel dans lequel se trouve l'objet, la structure de l'environnement se compose d'un obstacle dans le centre et un mur des deux côtés. Comme le montre la figure 3.3.

### 3.2.2. L'approche macroscopique

Nous avons utilisé l'approche macroscopique dans ce modèle, à partir de laquelle nous allons apprendre en détail ses caractéristiques.

#### Les Caractéristiques

- **Vitesse** : la vitesse du piéton à l'emplacement  $(x, y)$  à l'instant  $t$  dans les directions  $x$  et  $y$ . [13]

$v_1(x, y, t)$ : La vitesse dans la direction  $x$ .

$v_2(x, y, t)$ : La vitesse dans la direction  $y$ .

- **Flux** : Le flux de la foule est lié à densité et à la vitesse de la foule dans l'environnement. [13]

Le vecteur du flux dans les installations de marche :

$f_1(x, y, t) = P(x, y, t)v_1(x, y, t)$  : Est le flux dans la direction x.

$f_2(x, y, t) = P(x, y, t)v_2(x, y, t)$  : Est le flux dans la direction y.

Donc, L'équation du flux est :

$$f(x, y, t) = \rho(x, y, t)v(x, y, t)$$

$\rho(x, y, t)$ : Est la densité de piétons à l'emplacement (x, y) à l'instant t.

$v(x, y, t)$  : Est la vitesse de piétons à l'emplacement (x, y) à l'instant t.

- **Densité** : Nous représentons la densité de piétons à l'emplacement t  $P_t(x, y, t)$ .

### 1. L'équation de conservation [13]

Comportement de la sélection du chemin pour les piétons Même dans le contexte de conditions d'équilibre d'utilisation dynamique, la structure générale de modélisation peut être défini par l'équation différentielle suivante :

$$P_t(x, y, t) + \nabla \cdot f(x, y, t) = 0 \quad \forall (x, y) \in \Omega, t \in T_{++}$$

$P_t(x, y, t)$  : Est la densité de piétons à l'emplacement (x, y) à l'instant.

$f(x, y, t)$ : être le vecteur du flux. [13]

à travers une formule de différence conservatrice

$$\frac{d}{dt} P_{ij} = -\frac{1}{\Delta x} \left( (\hat{f}_1)_{i+\frac{1}{2}j} - (\hat{f}_1)_{i-\frac{1}{2}j} \right) - \frac{1}{\Delta y} \left( (\hat{f}_2)_{i+\frac{1}{2}j} - (\hat{f}_2)_{i-\frac{1}{2}j} \right)$$

$(\hat{f}_1)_{i+\frac{1}{2}j}$  : sont les flux numériques dans les directions x. [13]

$(\hat{f}_2)_{i+\frac{1}{2}j}$  : sont les flux numériques dans les directions y. [13]

### 2. L'équation d'Eikonal

L'équation Eikonal est un état de Hamilton–Jacobi Equations avec un état stable. [13]

$$c(x, y, t) = \|\nabla_{\phi}(x, y, t)\|$$

Les itérations suivantes de Gauss – Seidel avec quatre balayages de sens alternés sont ensuite effectuées [13]

$$(1) \ i = 1:N_x, \ j = 1:N_y$$

$$(2) \ i = N_x:1, \ j = 1:N_y$$

$$(3) \ i = N_x:1, \ j = N_y:1$$

$$(4) \ i = 1:N_x, \ j = N_y:1$$

où (i, j) est la paire d'index de grille dans (x, y) et Nx et Ny sont le nombre de points de la grille dans x et y, respectivement. Quand on boucle à un point (i, j), la solution est mise à jour comme suit: [13]

$$\text{si } |\phi_{i,j}^{x \min} - \phi_{i,j}^{y \min}| \leq c_{i,j} h$$

$$\bar{\phi} = \begin{cases} \min(\phi_{i,j}^{x \min}, \phi_{i,j}^{y \min}) + c_{i,j} h, & |\phi_{i,j}^{x \min} - \phi_{i,j}^{y \min}| \geq c_{i,j} h \\ \frac{\phi_{i,j}^{x \min} + \phi_{i,j}^{y \min} + \sqrt{(2c_{i,j}^2 h^2) - (\phi_{i,j}^{x \min} - \phi_{i,j}^{y \min})^2}}{2}, & |\phi_{i,j}^{x \min} - \phi_{i,j}^{y \min}| < c_{i,j} h \end{cases}$$

On a  $c_{i,j} = c(x_i, y_i, t)$

$$\begin{cases} \phi_{i,j}^{x \min} = \min(\phi_{i,j}^{\text{old}} - h(\phi_x)_{i,j}^-, \phi_{i,j}^{\text{old}} + h(\phi_x)_{i,j}^+) \\ \phi_{i,j}^{y \min} = \min(\phi_{i,j}^{\text{old}} - h(\phi_y)_{i,j}^-, \phi_{i,j}^{\text{old}} + h(\phi_y)_{i,j}^+) \end{cases}$$

## 4. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons détaillé la conception de notre système, les méthodes utilisées, ainsi que la généralisation générale et détaillée de notre système. Dans la prochaine étape, nous allons implémenter ce système pour obtenir un résultat.

## **1. Introduction**

Dans ce chapitre, nous présentons la phase finale du modèle macroscopique pour simuler le mouvement de la foule virtuelle dans un environnement virtuel.

Après avoir présenté la conception détaillée de notre modèle de simulation et spécifié ses composants détaillés, l'étape suivante consiste à utiliser un langage de programmation particulier pour faire l'implémentation.

Dans l'implémentation, l'environnement de développement matériel et logiciel utilisé pour réaliser notre application est révélée, puis on va exposer quelques tests et effectuer une analyse de résultats.

## **2. Environnement de l'application**

La mise en œuvre de n'importe quelle application requiert un environnement de développement matériel et logiciel et le nôtre est définie de la manière suivante :

### **2.1. De développement matériel**

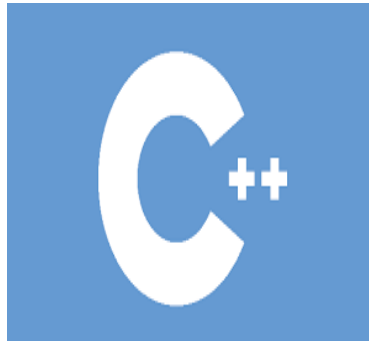
Pour l'implémentation de notre application nous avons utilisés une machine PC avec les caractéristiques suivantes :

- ❖ Processeur : Intel ® Core (TM) i5-7200 CPU @ 2.5 GHZ 2.5 GHZ
- ❖ RAM : 8 GB
- ❖ Carte graphique: NVIDIA GTX 950M
- ❖ Disque dur : 1 TO

### **2.2. Environnement de développement logiciel**

Notre application a été implémentée sous un système d'exploitation Windows 10 64-bits, plusieurs outils de programmation ont été utilisé, nous avons choisi Microsoft Visual Studio 2017 comme un IDE (Environnement de développement intégré) et le C++ comme un langage de programmation pour bénéficier de sa paradigme orientée-objet. L'intégration d'une plateforme de programmation haute niveau graphique (Unreal Engine) a été nécessaire pour rendre note implémentation possible.





### 2.2.1. Visual studio (version 2017)

Le Visual studio est un IDE suite de logiciels de développement pour Windows conçue par Microsoft. La dernière version s'appelle Visual Studio 2019.

Visual Studio est un ensemble complet d'outils de développement environnement de développement, qui leur permet de partager des outils et facilite la création de solutions faisant appel à plusieurs langages. Par ailleurs, ces langages permettent de mieux tirer parti des fonctionnalités du framework .NET



### 2.2.2. OpenGL



(Open Graphics Library) est un ensemble normalisé de fonctions de calcul d'images 2D ou 3D lancé par Silicon Graphics en 1992. Cette interface de programmation est disponible sur de nombreuses plateformes où elle est utilisée pour des applications qui vont du jeu vidéo jusqu'à la CAO en passant par la modélisation.

OpenGL permet à un programme de déclarer la géométrie d'objets sous forme de points, de vecteurs, de polygones, de bitmaps et de textures. OpenGL effectue ensuite des calculs de projection en vue de déterminer l'image à l'écran, en tenant compte de la distance, de l'orientation, des ombres, de la transparence et du cadrage.

### 2.2.3. Unreal Engine



Unreal Engine est un moteur de jeu vidéo développé par Epic Games. Les principaux concurrents de ce moteur sont Unity, le CryENGINE développé par Crytek ainsi que le Lumberyard d'Amazon (fork du CryENGINE).

En août 2005, alors qu'aucun jeu utilisant Unreal Engine 3 n'était encore sorti, Ken Beaulieu, vice-président d'Epic Games, annonce que l'équipe travaille depuis deux ans sur la version 4, sans donner plus de détails. Ce moteur graphique cible la huitième génération de consoles. La seule personne à travailler sur le code source de l'Unreal Engine 4 est Tim Sweeney, directeur technique et fondateur d'Epic Games. Michael Capps, président d'Epic Games, a indiqué que le moteur devrait être prêt vers 2012.

Unreal Engine fournit deux méthodes, C++ et Blueprints Visual Scripting, pour créer de nouveaux éléments. En utilisant C++, les programmeurs ajoutent les systèmes de base. Dans

ces cas, le programmeur C ++ travaille dans son IDE préféré (généralement Microsoft Visual Studio) et le concepteur dans l'éditeur Blueprint Editor de Unreal Editor.

Et nous utilisons dans la programmation avec Visual studio 2017.

## 1. Structure des données.

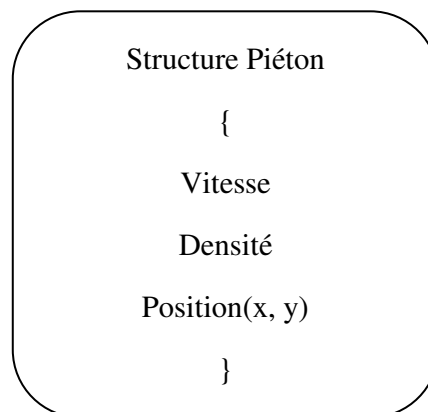
### 3.1. Représentation de l'environnement

Dans notre application on a représenté l'environnement en deux partie, la première est donnée par une matrice 2D, et la deuxième qui est implémenter par la Platform « UREAL ENGINE » est donnée en 3D.

### 3.2. Structure de foule

Nous avant présenté dans notre application une foule plein de piétions ou chacun des piétions a la même structure car on a travaillé avec une méthode macroscopique.

Comme on a fait l'implémentation en 2D et en 3D, donc la structure d'un piéton en 2D peut résumer comme suit :



La structure d'un piéton en 3D peut est la même structure en 2D sauf que la position avec trois coordonnées x,y,z .

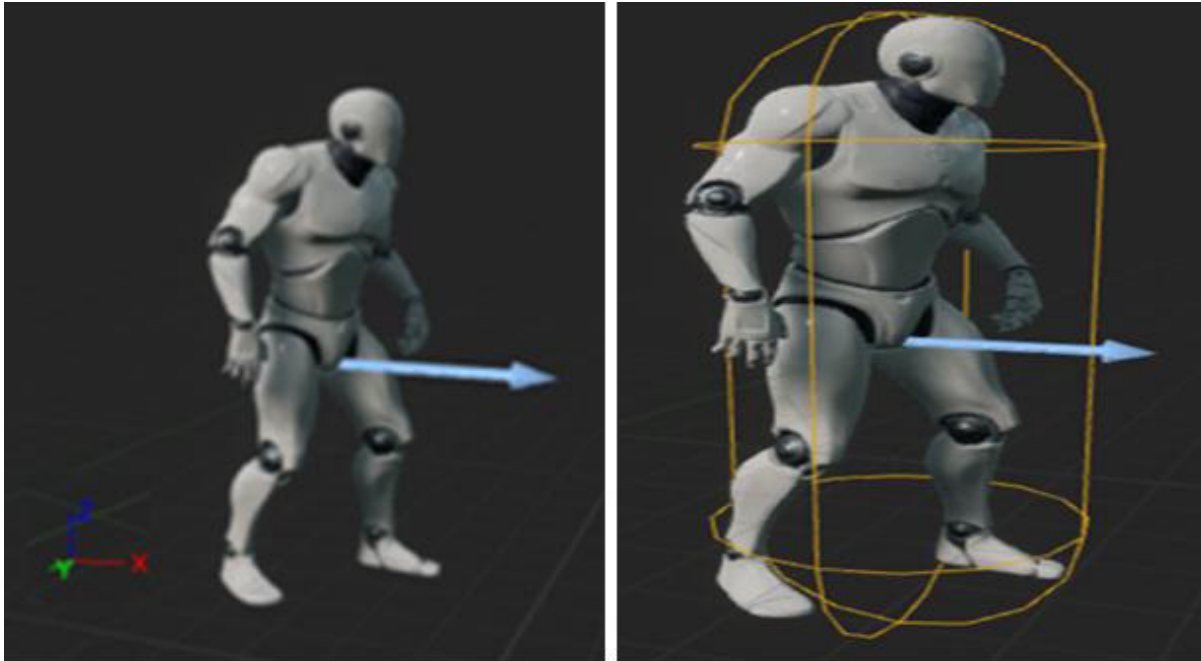


Figure 4.1. Piéton en 3D par UNREAL ENGINE

Nous créons une capsule pour fournir une distance entre l'acteur et les obstacles fixes, et à travers notre scène, nous utilisons la flèche de direction intégrée et la fonction de retard pour simuler la collision frontale en arrêtant un représentant. Dans notre programme, un individu a les mêmes caractéristiques (vitesse, même objectif) qu'un groupe d'individus qui représente notre foule, car nous travaillons sur le modèle macroscopique.

### 3.4. Représentation calcule densité

```
1 : Fonction densité.  
2 : Entrée x, y, nbr_per = nombre personne.  
3 : d=nouvelle densité.  
4 : r = Rayon  
5 : nbr_per = nombre personne dans environnement  
6: Initialize d = 0;  
7: Pour (i=0; i < nbr_per; i++)  
{  
8 : If ((pos.x -r>xt-r et pos.x-r<xt+r) ou (pos.x+r>xt et  
pos.x+r<xt+r))  
}  
9 : d++  
10 : end
```

### 3.4. Représentation calcule flux

La vitesse de la foule est liée à l'intensité de la foule les uns avec les autres selon la relation suivante:

Si la densité augmente donc la vitesse de la foule est réduite.

Si la densité diminue donc la vitesse de la foule augmente.

Comme ce lien à travers l'équation mathématique que nous avons appelé le flux :

$$\text{Flux} = \frac{\text{Vitesse}}{\text{Densité}}$$

## 4. Tests et Analyse de résultats

- ❖ La figure 4.2 représente le résultat avant d'appliquer l'équation densité et flux, Notez que les individus entrent en collision et sont proches les uns des autres, augmentant la vitesse avec densité croissante.

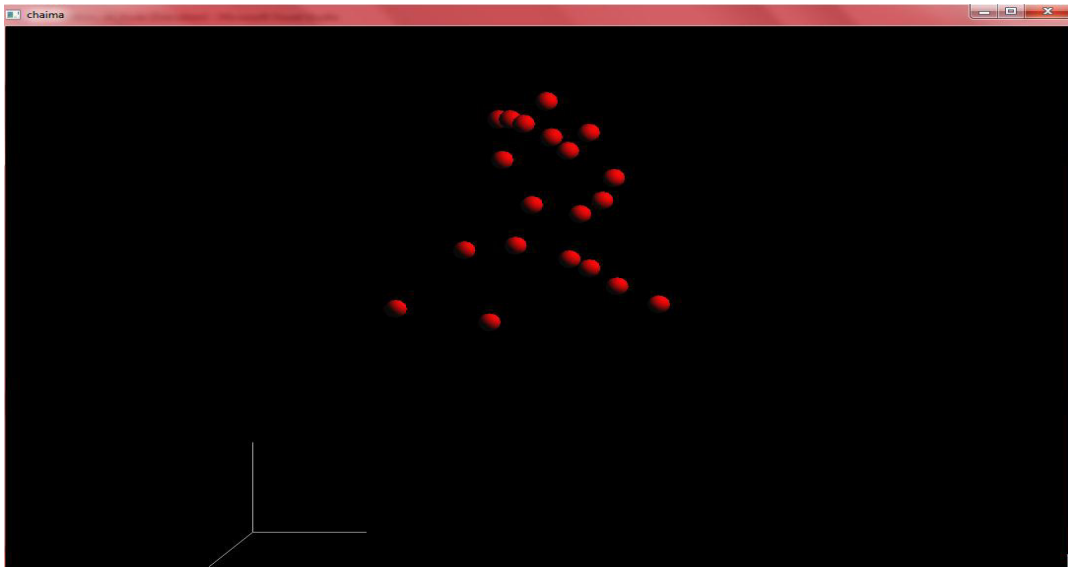


Figure 4.2. Le résultat 1 montre la foule avant d'appliquer des équations mathématiques.

- ❖ La figure 4.3 représente le résultat après l'appliquer d'équation de densité et flux, Où les chiffres représentent la densité de chaque individu, c'est-à-dire le nombre d'individus devant lui et ont la même position x.

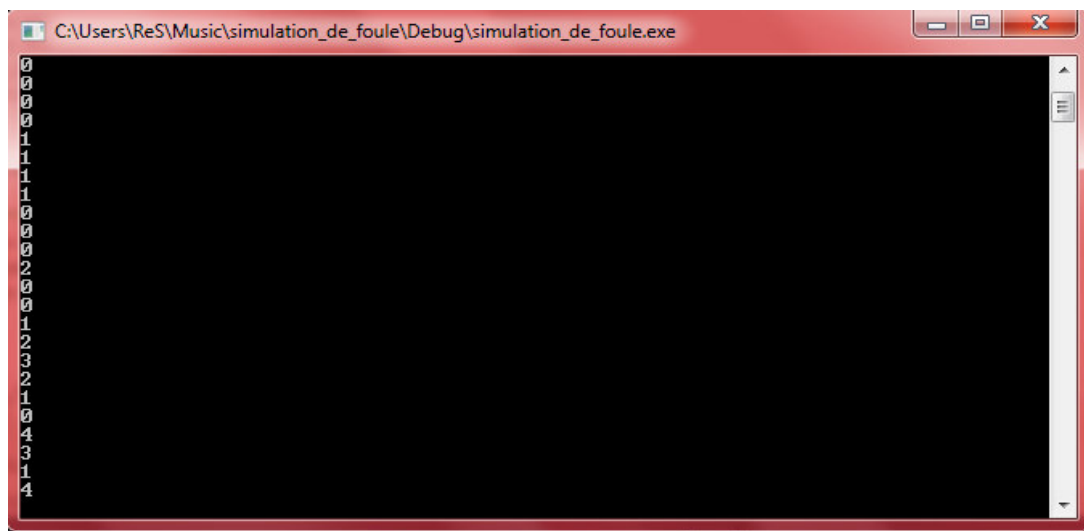


Figure 4.3. Le résultat 2 montre la foule après d'appliquer des équations mathématiques

- ❖ La figure 4.3 représente le résultat avant d'appliquer l'équation densité et flux, Notez que les individus au cours de l'excursion les collisions N'existe plus.

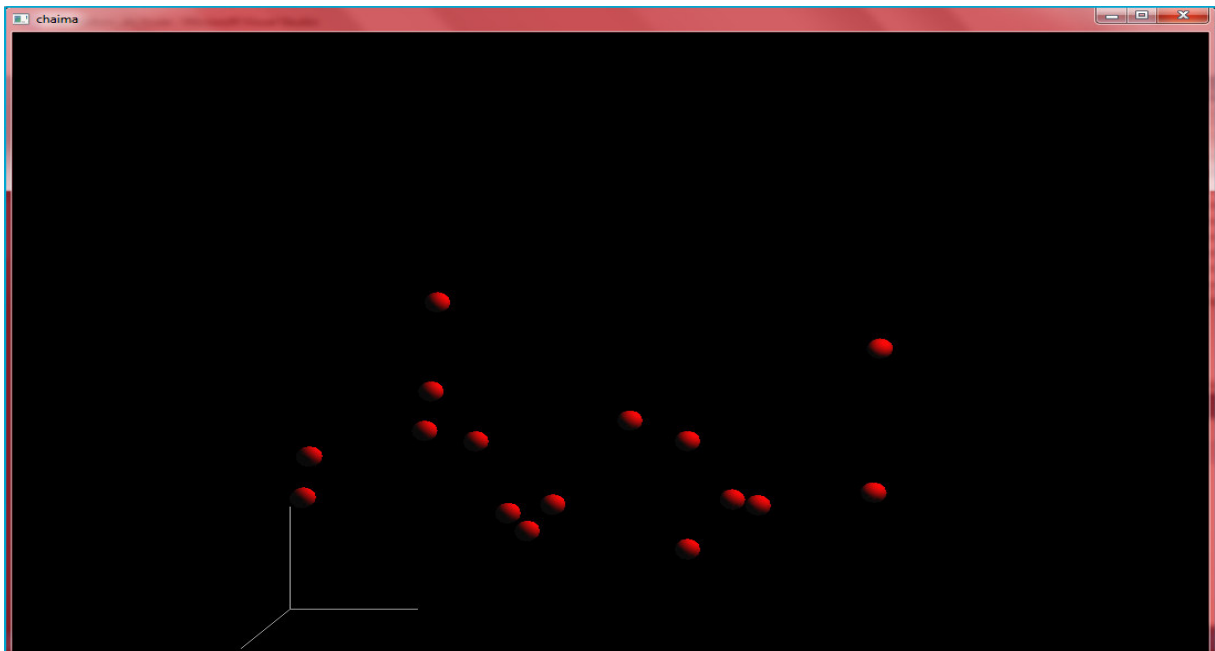


Figure 4.4. Le résultat 3 montre la foule après d'appliquer des équations mathématiques

- ❖ La figure 4.2 représente le résultat avant d'appliquer l'équation densité et flux, Notez que les individus sont à distance les uns des autres lorsque densité augmente la vitesse diminue.

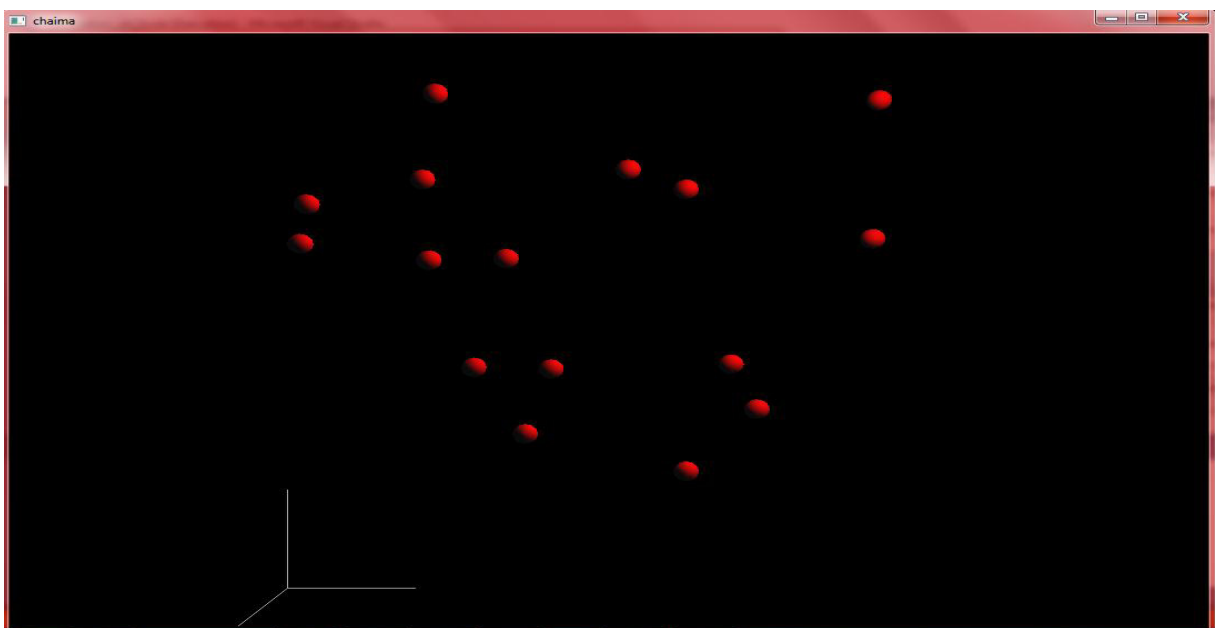
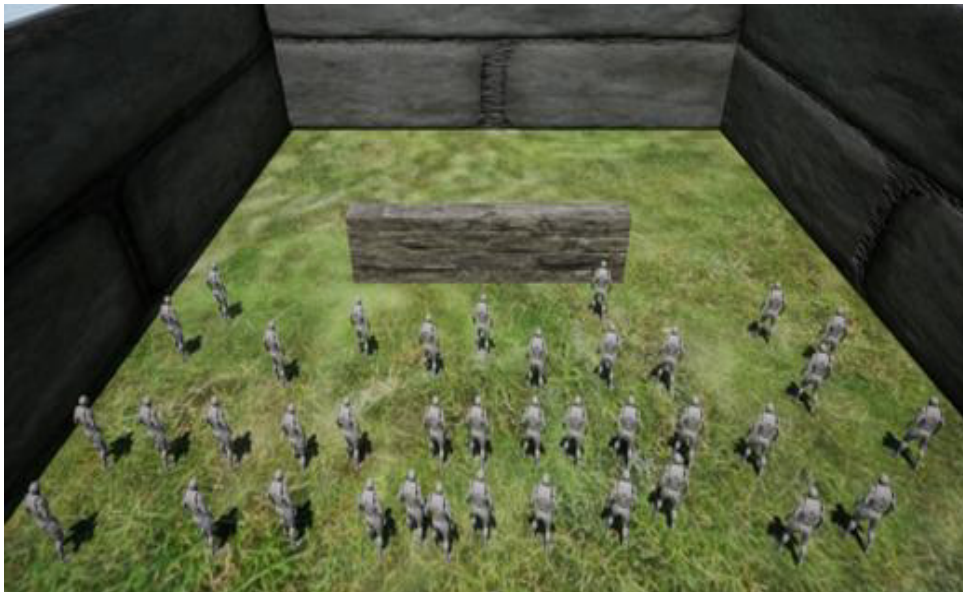


Figure 4.5. Le résultat 4 montre la foule après d'appliquer des équations mathématiques

Maintenant voir le résultat 3D en utilise l'outil UNREAL ENGINE.



**Figure 4.6.** Le résultat 5 montre la foule en UNREAL ENGINE en état initial.



**Figure 4.7.** Le résultat 6 montre la foule en UNREAL ENGINE Après quelque monument.





Figure 4.9. Le résultat 7 montre la foule en UNREAL ENGINE



Figure 4.8. Le résultat 7 montre la foule en UNREAL ENGINE.

## **5. Conclusion**

Dans ce chapitre, nous avons présenté les derniers résultats obtenus, la structure de l'environnement virtuel, la structure de la foule virtuelle, ainsi que nous avons montré des équations mathématiques, un algorithme que nous avons appliqué pour obtenir les derniers résultats en matière de comportement de la foule dans l'environnement virtuel, ainsi que les outils utilisés. En fin une présentation des résultats récents.

# *Chapitre 4*

---

## *Implémentation*

# *Chapitre 1*

---

*Simulation de la foule*

# *Chapitre 2*

---

*Les approches de la  
simulation*

# *Chapitre 3*

---

## *Conception*

## Conclusion général

Dans ce projet, on a vu la modélisation macroscopique de mouvements de foule, Nous avons traité une problématique Simule un mouvement de foule virtuel dans un environnement virtuel 3D et 2D.

Le premier chapitre couvert, nous avons exploré des termes profondément importants dans l'animation, tels que le comportement de la foule, et la façon dont nous avons dérivé ce comportement en observant réellement la foule et les types de foule capables d'interagir avec l'environnement virtuel, ensuite, nous avons présenté dans le second chapitre Deux approches microscopiques et microscopiques ont été développées dans la seconde approche macroscopique qui consiste en deux types first-order et second-order . dans le contexte après la troisième chapitre on présenté la conception de notre application et l'implémentation qui est basée sur environnement virtuel 3D Il y a une foule virtuelle dans laquelle nous avons appliqué des équations mathématiques.et logiciel utilisé et pour mettre en œuvre notre application et des résultats obtenus.

A travers ce mémoire A travers ce mémoire , il apparaît à la modélisation des mouvements de masse visant à décrire, par exemple, l'évacuation de bâtiments en cas d'incendie ou le contrôle des foules lors de grands rassemblements tels que des rassemblements politiques ou culturels.par conséquent, nous proposons un modèle macroscopique prenant en compte la vitesse et la densité de la foule, évitant leur collision, évitant les obstacles dans un environnement virtuel et les reliant les uns aux autres pour obtenir un bon résultat.

Nous voulons un accès futur à un résultat très proche réel.

## Références

- [1] : MODELISATION ET SIMULATION ' A BASE D'AGENTS Exemples commentés, outils informatiques et questions théoriques Institut de recherche pour le développement Préface de Paul Bourguine et Édith Perrier Jean-Pierre Treuil Alexis Drogoul Jean-Daniel Zucker.
- [2] : Modélisation du comportement humain pour la simulation d'évacuation de bâtiment en feu, Julien Valentin 1, Florent Coudret 2, Eric Gouardères 1 et Wilfrid Lefer 1 1 LIUPPA - Université de Pau et des Pays de l'Adour 2Centre Scientifique et Technique du Bâtiment, Sophia-Antipolis.
- [3] : Crowd Modeling and Simulation Technologies SUIPING ZHOU, DAN CHEN, WENTONG CAI, LINBO LUO, MALCOLM YOKE HEAN LOW and FENG TIAN Nanyang Technological University and VICTOR SU-HAN TAY and DA RREN WEE SZE ONG Defense Science & Technology Agency, Singapore and BENJAMIN D. HAMILTON Department of Defense, USA.
- [4] : Simulation du comportement de suivi dans une foule de piétons à travers l'expérience, l'analyse et la modélisation Samuel Lemercier
- [5] : DOCTEUR DE L'UNIVERSITE PARIS-EST Spécialité : Structures et Matériaux par Bachar KABALAN Sujet de la thèse : Dynamique des foules : modélisation du mouvement des piétons et forces associées engendrées
- [6] : Modèle global et paramétrable, pour la gestion des foules d'agents en animation comportementale Hakim Soussi.
- [7] :L'Université de Rennes Institut de Formation Supérieure en Informatique et en Communication par Stéphane Donikian Modélisation,contrôleet animation d'agents virtuels autonomes évoluant dans des environnement sinformés et structurés soutenu le 26août2004.
- [8] : K. Teknomo. Microscopic pedestrian flow characteristics: development of an image processing data collection and simulation model. Thèse de doctorat, Université deTohoku, Japon, 2002.
- [9] : Simulation du comportement de suivi dans une foule de piétons à travers l'expérience, l'analyse et la modélisation Samuel Lemercier HAL Id: tel-00724072 Submitted on 17 Aug 2012.
- [10] : FIRST-ORDER MACROSCOPIC MODELLING OF HUMAN CROWD DYNAMICS V. COSCIA Department of Mathematics, University of Ferrara, Via Machiavelli 35, 44100 Ferrara,



Italy cos@unife.it C. CANAVESIO Altran-Cis Italy, Str. del Drosso, 33/19, 10135 Torino, Italy  
Cinzia.Canavesio@altran-cis.it Received 12 December 2007 Revised 1 February 2008 Communicated  
by N. Bellomo and F. Brezzi .

[11] : ON THE MODELLING CROWD DYNAMICS FROM SCALING TO HYPERBOLIC  
MACROSCOPIC MODELS NICOLA BELLOMO Department of Mathematics, Politecnico,  
Torino, Corso Duca degli Abruzzi 24, 10129 Torino.

[12] : Modélisation du mouvement des personnes lors del'évacuation d'un bâtiment à la suite d'un  
sinistre Constantin Theos To cite this version: Constantin Theos. Modélisation du mouvement des  
personnes lors de l'évacuation d'un bâtiment à la suite d'un sinistre. Sciences de la Terre. Ecole  
Nationale des Ponts et Chaussées, 1994. Français.

[13] : Revisiting Hughes' dynamic continuum model for pedestrian flow and the development of an  
efficient solution algorithm Ling Huang a, S.C.

## Table des figures

Figure 1.1.Un modèle de simulation de foule est composé d'une agrégation d'agents et de l'environnement qu'ils habitent. La simulation est ensuite réalisée au fil du temps.....	4
Figure 1.2.Est une évacuation en cas d'accident d'avion, (a) Dans le monde réel, (b) Dans le monde virtuel.....	5
Figure 1.3.Un grand nombre de personnes se sont rassemblées pour jouer au football .....	5
Figure 1.4.Simulation de foule à l'intérieur d'un centre commercial ViLL UP .....	6
Figure 1.5.Foules homogènes.....	8
Figure 1.6.Collection d'agents .....	9
Figure 1.7.Groupe .....	10
Figure 1.8 Les différentes boucles de rétro-action .....	11
Figure 1.9.Phénomène d'arche d'après .....	14
Figure 1.10.Formation de ligne à contre courant d'après .....	14
Figure 1.11.Phénomène d'oscillation d'après .....	15
Figure 1.12.Corner hugging d'après .....	15
Figure 2.1.Exemple montrant un modèle microcosmique où les actions représentent l'objectif de chaque individu. ....	17
Figure 2.2. Automates cellulaires Matrice 3*3 des probabilités de la prochaine position d'un piéton.....	18
Figure 2.3. Exemples de règles de comportement proposées par Reynolds .....	19
Figure 2.4.Exemple de simulation pour le modèle de forces sociales. ....	20
Figure 2.5.Exemple Modèles à base de forces présente Simulation d'évacuation d'un bâtiment avec une approche hybride. ....	21
Figure 2.6.Exemple modélisation macroscopique. ....	22
Figure 2.7.Géométrie du domaine occupé par la foule. ....	23
Figure 2.8.Cible et zone de visibilité.....	28
Figure 2.9.comparaison entre Le modèle microscopique et modèle macroscopique en cas d'évacuation.....	30
Figure 3.1.structure générale de notre système .....	33
Figure 3.2. Conception détaillée de la structure dont nous avons besoin. ....	35
Figure 3.3. La conception de l'environnement virtuel.....	36
Figure 4.1. Piéton en 3D par UNREAL UNGINE.....	43
Figure 4.2. Le résultat 1 montre la foule avant d'appliquer des équations mathématiques.....	45

Figure 4.3. Le résultat 2 montre la foule après d'appliquer des équations mathématiques .....	45
Figure 4.4. Le résultat 3 montre la foule après d'appliquer des équations mathématiques .....	46
Figure 4.5. Le résultat 4 montre la foule après d'appliquer des équations mathématiques .....	46
Figure 4.6. Le résultat 5 montre la foule en UNREAL ENGINE en état initial. ....	47
Figure 4.7. Le résultat 6 montre la foule en UNREAL ENGINE Après quelque monument. .	47
Figure 4.8. Le résultat 7 montre la foule en UNREAL ENGINE. ....	48
Figure 4.9. Le résultat 7 montre la foule en UNREAL ENGINE .....	48

## Table des matières

Table des matières

Tables des figures

Introduction général ..... 1

### Chapitre 1 : Simulation de la foule

1. Introduction ..... 3

2. Simulation de la foule ..... 3

3. Domaine d'applications..... 4

4. Définition de la foule..... 6

5. Types de foules..... 7

5.1. Foules homogènes ..... 7

5.2. Collection d'agents..... 8

5.3. Groupe ..... 9

6. Les Comportements..... 10

7. Observations de la foule ..... 12

8. Conclusion..... 16

### Chapitre 2 : les approches de simulation

1. Introduction ..... 17

2. Les approches de simulation ..... 17

2.1. Les modèles microscopique..... 17

2.1.1. Automates cellulaires ..... 18

2.1.2. Modèles a base de règles..... 19

2.1.3. Modèles a base de forces ..... 20

2.2. Les modèles macroscopique ..... 21

2.2.1. Modèles macroscopiques de first-ordre .....	24
2.2.3. Modèles macroscopiques de second-ordre .....	25
3. Comparaison entre Le modèle microscopique et modèle macroscopique : .....	29
4. Conclusion : .....	31

## Chapitre 3 : Conception

1. Introduction .....	32
2. Objectif.....	32
3. Conception .....	32
3.1. Conception Global .....	33
3.2. Conception détaillée .....	35
3.2.1. Modèle environnement .....	36
3.2.2. L'approche macroscopique .....	36
4. Conclusion .....	38

## Chapitre 4 : Implémentation

1.Introduction .....	39
2.Environment de l'application .....	39
2.1. De développement matériel .....	39
2.2. Environnement de développement logiciel .....	39
2.2.1. Visual studio (version 2017).....	40
2.2.2. OpenGL.....	40
2.2.3. Unreal Engine .....	41
1.Structure des données.....	42
3.1. Représentation de l'environnement .....	42
3.2. Structure de foule.....	42
3.4. Représentation calcule densité.....	44
3.4. Représentation calcule flux .....	44

4. Tests et Analyse de résultats .....	45
5. Conclusion.....	49
Conclusion générale .....	50