

M/004.440

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

Université de 8 Mai 1945 - Guelma -

Faculté des Mathématiques, d'Informatique et Sciences de la matière

Département d'Informatique



Mémoire de fin d'études Master 13/828

Filière : Informatique

Option : Ingénierie des Medias

Thème :

**Animation comportementale et modélisation d'un groupe de personnes**

Encadré par :  
Dr. Hakim SOUSSI.

Présenter par :  
Ali GOUAMI,  
Ameur BOUKERCHA.



Juin 2013



## ❄ Remerciment ❄

*Au nom de dieu, le tout miséricordieux,*

*le très miséricordieux*

*La reconnaissance est la mémoire du cœur*

≈ LE GRAND MERCI POUR LE DIEU ≈

*En préambule à ce mémoire, nous souhaitons adresser nos remerciements les plus sincères aux personnes qui nous ont apporté leur aide et qui ont contribué à l'élaboration de ce mémoire ainsi qu'à la réussite de cette formidable année universitaire.*

*Nous remercions du fond du cœur ♥ nos parents ♥ pour leur contribution, leur soutien et leur patience durant toutes nos études et qui nous ont toujours aidé et encouragé aux moments opportuns.*

*Nous tenons à remercier sincèrement le **Dr. Hakim SOUSSI** qui en tant qu'encadreur, s'est toujours montré à l'écoute et très disponible tout au long de la réalisation de ce travail. Ainsi que pour l'inspiration, l'aide et le temps qu'il a bien voulu nous consacrer et sans qui ce travail n'aurait jamais vu le jour.*

*Nos remerciements s'adressent également aux membres du jury pour le temps qu'ils ont accordé à l'examen de ce travail. Nous adressons également nos remerciements, à tous nos enseignants, qui nous ont donnés les bases de la science, ainsi que pour leurs précieux conseils durant tout au long de notre cursus universitaire.*

*Enfin, nous adressons nos plus sincères remerciements à tous nos proches, amis et collègues de qui nous ont toujours soutenue et encouragée.*

Merci à tous et à toutes.

---

## Résumé

Nous présentons dans ce travail une simulation comportementale d'un groupe d'amis dans un environnement virtuel urbain, intervenant dans différentes situations.

Nous cherchons à satisfaire simultanément les deux types de réalisme macroscopique et microscopique. On peut distinguer deux points essentielles à l'établissement de notre modèle : La première point concerne la gestion du mouvement et des interactions agent-agent et agent-obstacle. Tout d'abord, pendant le déplacement, les agents ou les membres du groupe doivent respecter une contrainte de cohésion. Ensuite, pour gérer la collision piéton-piéton les agents doivent garder une distance de sécurité. Enfin, nous utilisant une approche zonale pour la gestion des interactions agent-obstacle, où chaque obstacle a une zone d'influence qui permet l'évitement de collision.

Le second point consiste à gérer le comportement des agents. Nous nous sommes inspirés des travaux de Hakim SOUSSI [SOU11]. Nous adoptons la notion de contexte et de tendance. Les contextes sont des moyens pour contrôler les groupes (satisfaire le réalisme macroscopique), et ont pour but de modéliser les réactions et comportements des agents. La tendance aux attributs de caractères donne aux agents une variété dans les comportements dans un même contexte (satisfaire le réalisme microscopique).

### Mots clés :

Simulation de foules, contextes, attributs de caractère, réalisme macroscopique et microscopique, animation comportementale, environnement virtuel.



# Table des matières

<b>1</b>	<b>Introduction générale</b>	<b>9</b>
<b>2</b>	<b>Modèles de simulation de foules</b>	<b>11</b>
2.1	Introduction . . . . .	12
2.2	Réalisme de simulation . . . . .	12
2.2.1	Réalisme microscopique . . . . .	12
2.2.2	Réalisme macroscopique . . . . .	13
2.3	La foule . . . . .	13
2.3.1	Caractéristiques du déplacement . . . . .	13
2.3.1.1	Comportement des piétons à l'échelle microscopique . . .	13
2.3.1.2	Comportement des piétons à l'échelle macroscopique . . .	14
2.3.2	Types de foules . . . . .	16
2.3.2.1	Foules homogènes . . . . .	16
2.3.2.2	Collection d'agents . . . . .	16
2.3.2.3	Groupe . . . . .	17
2.3.2.4	Combinaison des types de foules . . . . .	17
2.4	Critères de réalisme . . . . .	18
2.4.1	Contrôle des foules . . . . .	18
2.4.1.1	Contrôle interactif . . . . .	18
2.4.1.2	Contrôle prédéfini . . . . .	19
2.4.2	La communication . . . . .	19
2.4.3	L'adaptabilité . . . . .	19
2.4.4	La variabilité . . . . .	21
2.5	Types de modèles . . . . .	21

2.5.1	Modèles macroscopiques . . . . .	21
2.5.1.1	Modèles des fluides ou gaz . . . . .	22
2.5.1.2	Modèles de flots . . . . .	22
2.5.2	Modèles microscopiques . . . . .	23
2.5.2.1	Modèles d'automates cellulaires . . . . .	23
2.5.2.2	Modèles à base de règles . . . . .	25
2.5.2.3	Modèles à base de forces . . . . .	26
2.6	Conclusion . . . . .	27
<b>3</b>	<b>L'environnement de simulation</b>	<b>28</b>
3.1	Introduction . . . . .	29
3.2	Acquisition de l'information . . . . .	29
3.2.1	La perception . . . . .	29
3.2.1.1	Les types d'information . . . . .	29
3.2.1.2	Les types de perception d'information . . . . .	32
3.2.2	Communication . . . . .	37
3.3	Modèles comportementaux . . . . .	38
3.3.1	Le modèle ViCrowd . . . . .	38
3.3.1.1	La structure de ViCrowd . . . . .	38
3.3.1.2	Les types d'informations . . . . .	38
3.3.1.3	Mouvement de foule . . . . .	39
3.3.1.4	Types de comportement et de groupes . . . . .	40
3.3.2	Le modèle MACES . . . . .	40
3.3.3	Synthèse . . . . .	42
3.4	Conclusion . . . . .	43
<b>4</b>	<b>Présentation du modèle</b>	<b>44</b>
4.1	Introduction . . . . .	45
4.2	Composants du modèle . . . . .	45
4.2.1	Attributs de caractère . . . . .	45
4.2.2	Contexte . . . . .	46
4.2.2.1	Contexte privé . . . . .	46

---

4.2.2.2	Contexte global	47
4.3	Environnement	48
4.3.1	Représentation de l'environnement	48
4.3.2	La perception	48
4.4	Expérimentation	49
4.4.1	L'interface graphique	51
4.4.1.1	Fenêtre de contrôle	51
4.4.1.2	La scène de la simulation	51
4.4.2	Fonctionnement du modèle (Exemple : simulation de cas)	55
4.4.2.1	Définition des contextes globales	55
4.4.2.2	Définition des attributs de caractères	57
4.4.2.3	Définition des comportements	57
4.4.2.4	Calcul des valeurs des attributs de caractère	58
4.4.2.5	Activation des comportements	58
4.4.2.6	Exécution des comportements	58
4.4.2.7	Traitement de collision	59
4.4.2.8	La cohésion	62
4.5	Conclusion	63
5	<b>Conclusion et perspectives</b>	<b>64</b>
	Bibliographie	65

# Table des figures

2.1	Le phénomène d’arche [DHV00]. . . . .	14
2.2	Formation de files [MOU10]. . . . .	15
2.3	Le phénomène d’oscillation [LEM12]. . . . .	15
2.4	Foule homogène . . . . .	16
2.5	Collection d’agents [MT01]. . . . .	17
2.6	Groupe [jcu FIFA 2009]. . . . .	17
2.7	Contrôle interactif de la foule [KT98]. . . . .	19
2.8	La communication entre les agents [SOU11]. . . . .	20
2.9	Communication entre agents pour l’évacuation [Bad05]. . . . .	20
2.10	Un lecteur-buveur-fumeur simulé avec HPTS++ [BAD06]. . . . .	21
2.11	Simulation d’évacuation. à droite représente l’état initial, à gauche pendant l’évacuation [RC11]. . . . .	22
2.12	Model de flot [MV07]. . . . .	23
2.13	Simulation d’évacuation de salle avec le modèle automate cellulaire [WG06].	24
2.14	Matrice 3*3 de la prochaine cellule d’un agent [BKSZ01]. . . . .	24
2.15	Les trois règles caractérisant le comportement des oiseaux [Rey87]. . . . .	25
2.16	Modèle à base de force [HM95]. . . . .	26
2.17	Deux piétons arrivant l’un vers l’autre [Thu05]. . . . .	27
3.1	Expansivité d’un agent [SOU11]. . . . .	30
3.2	Différent types de marche selon l’émotion [MT01]. . . . .	30
3.3	Image du musée virtuel [Don04]. . . . .	30
3.4	Piétons dans d’un carrefour [Ami08]. . . . .	31
3.5	Les types d’informations collectées [SOU11]. . . . .	31

3.6	Zone de perception rectangulaire [SOU11]. . . . .	32
3.7	Placement de marqueurs dans un agent [LEM12]. . . . .	33
3.8	Représentation de l'information sous forme numérique [PAN08]. . . . .	34
3.9	Annotation audio et textuelle [BNC <sup>+</sup> 03]. . . . .	34
3.10	La force répulsive du chien est plus élevée, ce qui oblige le groupe à choisir un autre chemin [BmLA02]. . . . .	35
3.11	Représentation basée sur les grilles [FTC02]. . . . .	36
3.12	Gaspillage d'espace dans la représentation basée sur les grilles [SOU11]. . . . .	36
3.13	à gauche la trajectoire des déplacements observés et les potentiels attribués. à droite les forces résultantes des champs de potentiels [TBS04]. . . . .	37
3.14	Simulation d'évacuation d'un bâtiment [Bad05]. . . . .	37
3.15	Un dialogue entre un leader et la foule. « à gauche le leader parle et à droite la foule réagit » [MT'01]. . . . .	38
3.16	Structure de ViCROWD [MTM99]. . . . .	39
3.17	Différentes émotions d'un groupe [MTM99]. . . . .	39
3.18	Les points d'intérêt et les points d'accès [MTM99]. . . . .	40
3.19	Évacuation de foule. A gauche un petit nombre de leaders, à droite avec un grand nombre de leaders [Bad05]	42
4.1	Les tendances de trois agents pour les trois attributs de Caractères (panique, faim, colère). . . . .	46
4.2	Tendance de l'attribut de caractère panique. A gauche avant le contexte feu, à droite pendant le contexte feu. . . . .	47
4.3	Les différents éléments du modèle. . . . .	47
4.4	Méthode de représentation de l'environnement. . . . .	49
4.5	Architecture générale de l'environnement. . . . .	50
4.6	La procédure de décision. . . . .	50
4.7	Approche de perception. . . . .	50
4.8	Les différents pages de la fenêtre de contrôle. . . . .	52
4.9	Les différentes représentations des agents pendant le déplacement. . . . .	53
4.10	Les différentes représentations des véhicules. . . . .	54
4.11	Les différents éléments de la scène. . . . .	55



---

4.12 Capture d'écran de la scène de simulation. . . . .	56
4.13 Représentation du contexte feu. . . . .	56
4.14 Représentation du contexte fast food. . . . .	57
4.15 La distance de sécurité. . . . .	59
4.16 Collision de locomotion. . . . .	60
4.17 Collision d'incident. L'agent en rouge a la priorité. . . . .	60
4.18 Collision de confrontation. . . . .	61
4.19 Gestion de collision agent – obstacle. . . . .	61
4.20 L'importance de la zone d'influence. . . . .	61
4.21 Gestion de collision agent – véhicule. . . . .	62
4.22 Gestion de cohésion. . . . .	63

# Chapitre 1

## Introduction générale

La simulation de foules est un sujet très récent dans le domaine de l'infographie, est a pour objectif d'engendrer des mouvements, action et comportements d'un grand nombre d'individus dans un environnement virtuel. Elle est utilisée dans de nombreux domaines d'application avec des objectifs différents, que ce soit dans des jeux vidéo, simulation d'évacuation de foules, systèmes d'entraînement ou encore dans les films et les effets spéciaux.

L'animation comportementale cherche à présenter des modèles permettant de simuler et animer des environnements virtuels qui sont généralement peuplés d'entités virtuelles (Humain virtuel) qui sont appelés des *avatars*. Ces avatars sont capable de communiquer avec les autres, de percevoir leur environnement, agissent sur ce dernier et prennent des décisions en rapport avec la situation perçue pour exprimer un comportement proche de l'organisme vivant simulé.

Dans ce travail, nous voulons modéliser le comportement d'un groupe dans des environnements virtuels, et simuler les interactions des piétons (par exemple avec les obstacles dynamiques ou statiques), et obtenir une variété dans les comportements adoptés par les agents dans une même situation (via les contextes) en utilisant les attributs de caractères pour générer des agents spécifiques.

Ce modèle doit disposer les propriétés suivantes :

- il doit satisfaire au réalisme macroscopique et microscopique.
- il doit pouvoir simuler les groupes d'agents (par exemple un groupe d'amis).
- il doit aussi permettre aux utilisateurs d'interagir et de contrôler les agents du groupe.

## Organisation du mémoire

Ce document est constitué de cinq parties :

Le second chapitre est consacré à la présentation des deux types de réalisme (macroscopique et microscopique), et leurs critères. On listera certaines caractéristiques de déplacement des piétons à la fois à l'échelle microscopique et à l'échelle macroscopique. On classera les différents types de foules, et on présentera aussi les deux types de modèles de simulations de foules (les modèles macroscopiques et les modèles microscopiques).

Dans le chapitre 3, on parlera de l'acquisition de l'information dans un environnement virtuel, et on présentera quelques modèles comportementaux.

Le chapitre 4 sera consacré à la présentation des différents composants et le fonctionnement du modèle, ainsi la présentation de l'environnement de simulation.

Enfin on clôturera ce travail avec une conclusion ainsi quelques perspectives pour améliorer ce modèle.

# Chapitre 2

## Modèles de simulation de foules

### Sommaire

---

<b>2.1</b>	<b>Introduction</b>	<b>12</b>
<b>2.2</b>	<b>Réalisme de simulation</b>	<b>12</b>
2.2.1	Réalisme microscopique	12
2.2.2	Réalisme macroscopique	13
<b>2.3</b>	<b>La foule</b>	<b>13</b>
2.3.1	Caractéristiques du déplacement	13
2.3.2	Types de foules	16
<b>2.4</b>	<b>Critères de réalisme</b>	<b>18</b>
2.4.1	Contrôle des foules	18
2.4.2	La communication	19
2.4.3	L'adaptabilité	19
2.4.4	La variabilité	21
<b>2.5</b>	<b>Types de modèles</b>	<b>21</b>
2.5.1	Modèles macroscopiques	21
2.5.2	Modèles microscopiques	23
<b>2.6</b>	<b>Conclusion</b>	<b>27</b>

---

## 2.1 Introduction

La simulation de foule est un vaste sujet d'étude sur lequel se sont penchées plusieurs sciences telles que les mathématiques, la physique ou encore l'animation graphique. Ces sciences ont pour but d'analyser les mouvements de foule et la modélisation du comportement de l'humain. Ainsi, plusieurs types de modèles de simulation de foule ont été imaginés en fonction du type de réalisme et des objectifs.

Dans ce chapitre nous présentons les deux types de réalisme, les différents types de foules, nous parlerons aussi des critères de réalisme, finalement nous classerons les modèles de simulation de foule par échelle puis par type.

## 2.2 Réalisme de simulation

L'animation comportementale s'attache à décrire le principe d'un comportement plutôt que le comportement lui-même, c'est-à-dire que l'objectif n'est pas d'obtenir une visualisation réaliste mais un comportement qui va permettre de comprendre les résultats de la simulation<sup>1</sup>. Le choix est basé sur des actions effectuées par les agents en fonction de l'environnement[Thu05], Ce qui nous mène à décrire deux types de réalisme ; le réalisme microscopique et le réalisme macroscopique (voir la thèse de Hakim SOUSSI[SOU11]).

### 2.2.1 Réalisme microscopique

Dans le réalisme microscopique, le réalisme caractérise le comportement individuel de chaque agent de la foule (individu virtuel) dans un jeu de contextes, où le comportement doit ressembler à celui d'un humain appartenant à une foule dans les mêmes contextes, c'est-à-dire qu'il y ait une variabilité dans le comportement d'un agent à l'autre (comportement non stéréotypé). D'autre part, les agents doivent pouvoir résoudre certains problèmes à leur échelle de manière autonome. Dans la simulation des foules, le réalisme microscopique se figure dans différent phase, prenons par exemple l'évitement des collisions ou encore réalisation d'une en collaboration de l'ensemble des agents.

---

1. Ce paragraphe vient du cours « animation comportementale » <http://ufrsciencestech.u-bourgogne.fr/m2via/AnimationComportementale/Cours.pdf>



### 2.2.2 Réalisme macroscopique

Contrairement au réalisme microscopique, dans le réalisme macroscopique l'histoire racontée par la foule est limitée à la juxtaposition des histoires individuelles, c'est-à-dire que l'agent n'est pas traité individuellement mais en tant qu'élément constitutif de la foule. Dans beaucoup de cas, la foule doit obéir à des contraintes macroscopiques, en termes de propriétés (densité, dispersion, volume, vitesse moyenne de déplacement,...) ou de comportement (par exemple suivre une trajectoire).

Dans le cadre de l'animation comportementale, le mot scénario sera défini ici comme l'ensemble de contraintes attendues sur le comportement d'une foule dans cette animation. Le réalisme macroscopique d'une simulation de foule est satisfait lorsque le comportement macroscopique prévu par le scénario est satisfait, ce qui lui permet de ressembler à une foule réelle.

## 2.3 La foule

Par définition, une foule est une multitude de personnes regroupées dans un même lieu, ou bien c'est un système composé de piétons en mouvement qui interagissent entre eux. Les premières études menées pour décrire le comportement des piétons durant la marche étaient des observations des piétons et de recueillir des informations qualitatives (par exemple : la détermination des préférences des piétons [PÉ11]) et quantitatives (par exemple : la vitesse de marche des piétons [LEM12]) sur la foule. Ces observations ont pour but de mieux comprendre le comportement des piétons à la fois à l'échelle microscopique et à l'échelle macroscopique, ce qui permet de lister certaines caractéristiques (comportement) de déplacement des piétons.

### 2.3.1 Caractéristiques du déplacement

#### 2.3.1.1 Comportement des piétons à l'échelle microscopique

On peut distinguer plusieurs caractéristiques du comportement individuel des piétons, données dans de nombreux documents sont :

★- D'après [Ami08], chaque piéton a une zone de sécurité qui s'étend devant lui qui lui

permet d'éviter les collisions.

- D'après [MOU10], un piéton se déplace à une vitesse dite « de confort » qui dépend de ; ses caractéristiques personnelles (son âge, son genre, sa taille, son état de santé ...), de ses caractéristiques de déplacement (une visite touristique, la longueur du chemin,...) et les caractéristiques de l'environnement (les conditions météorologiques par exemples).
- D'après [PÉ11], le piéton se déplace selon le chemin le plus court (il préfère marcher sur une route droite plutôt que sinueuse), ainsi en situation d'urgence, un individu se déplace considérablement plus vite que la normale et développe un phénomène de mimétisme.

### 2.3.1.2 Comportement des piétons à l'échelle macroscopique

Dans de nombreuses situations de la vie quotidienne, une foule de piétons en déplacement présente des capacités d'organisation, dans cette section nous aborderons la notion du phénomène d'auto-organisation (*l'émergence spontanée d'une structure globale dans un système, à partir d'interactions locales entre les agents qui composent ce système*). Ces phénomènes sont :

- Si un blocage s'installe et une arche se forme autour d'un espace étroit tel qu'une porte quand une foule dense veut la traverser (figure 2.1), ce phénomène est dit le phénomène d'arche [PÉ11].

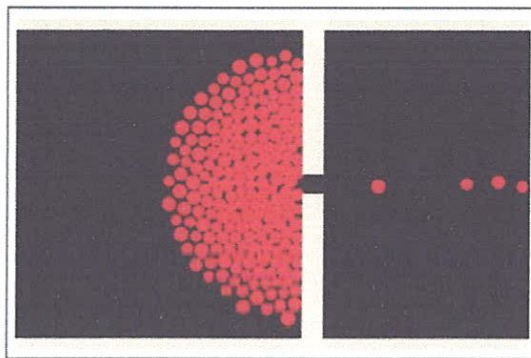


FIGURE 2.1 – Le phénomène d'arche [DHV00].

- Une autre forme d'organisation apparaît lorsque deux flux de piétons se déplacent en sens inverses, il se crée naturellement des lignes de piétons qui se suivent (figure

2.2), ce qui permet de réduire les collisions entre piétons et d'augmenter leur vitesse de déplacement, ce phénomène prend le nom la formation de files [MOU10].



FIGURE 2.2 – Formation de files [MOU10].

- lorsqu'une porte est traversée par deux foules en sens contraire, le déplacement des piétons de chaque foule montre une alternance de passage (figure 2.3) et le phénomène d'oscillation se crée [LEM12].

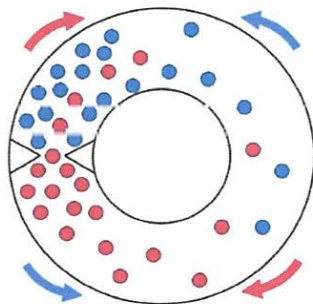


FIGURE 2.3 – Le phénomène d'oscillation [LEM12].

Il y'a aussi d'autre comportements qui caractérisent le déplacement collectif :

- D'après [MOU10] [MT01], les agents du même groupe marchent ensemble via un mécanisme d'attraction qui assure la cohésion des individus et évite leur dispersion. À l'inverse, un mécanisme de répulsion est nécessaire de manière à éviter que les individus n'occupent la même position au même moment.
- D'après [PÉ11], un groupe séparé pour une certaine raison cherche à se reformer, ainsi un groupe organisé hiérarchiquement (comme une famille) à un comportement différent d'un groupe n'ayant pas de hiérarchie (comme un groupe d'amis).



## 2.3.2 Types de foules

### 2.3.2.1 Foules homogènes

Dans cette catégorie, l'ensemble des agents répartissent la plupart de leurs caractéristiques comme le but et le comportement potentiel (**capacité à fonctionner ensemble**) (figure 2.4)<sup>2</sup>. Le réalisme macroscopique est essentiel et les comportements des agents est en général très simples. Par exemple dans les travaux de Reynolds [Rey87], les agents doivent respecter les contraintes de cohésion et de dispersion. Ces contraintes déterminent le comportement commun des agents (suivre le leader).

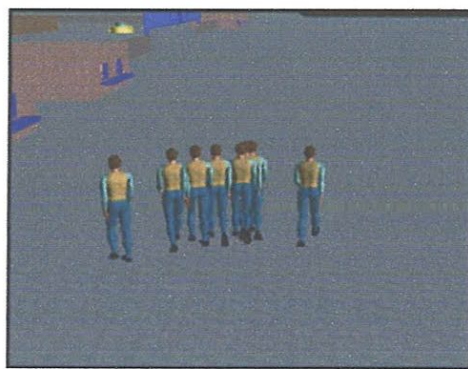


FIGURE 2.4 – Foule homogène

### 2.3.2.2 Collection d'agents

Au niveau de cette catégorie chaque agent dispose de son propre comportement et ses propres buts. L'histoire racontée par la foule est limitée à la juxtaposition des histoires individuelles. Comme par exemple dans [MT01], les auteurs simulent des agents dans une gare (figure 2.5) où plusieurs agents se trouvent dans le même lieu et exécutent différentes actions (acheter un billet, attendre un personne, ...) Dans cette catégorie le réalisme microscopique est primordial, et l'animation comportementale consiste à gérer les agents individuellement (les agents possèdent des propriétés microscopiques) parce que les agents n'ont rien à faire en commun.

---

2. Cette image vient du cours « animation comportementale » <http://ufrsciencestech.u-bourgogne.fr/m2via/AnimationComportementale/Cours.pdf>



FIGURE 2.5 – Collection d'agents [MT01].

### 2.3.2.3 Groupe

Au contraire des foules homogènes qui partagent de l'information et/ou communiquent. Ses membres doivent coopérer pour donner au groupe le comportement requis, c'est-à-dire que les différents rôles qu'y jouent les membres caractérisent totalement le groupe (figure 2.6).

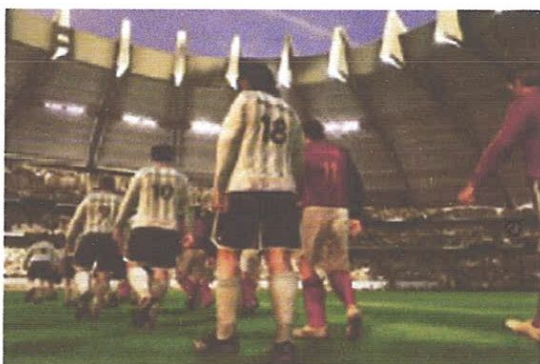


FIGURE 2.6 – Groupe [jeu FIFA 2009].

(édité par Electronic Arts)

Dans ce type d'animation comportementale, il n'y a pas un conflit entre le réalisme macroscopique et le réalisme microscopique.

### 2.3.2.4 Combinaison des types de foules

Certains modèles de nuées (d'oiseaux) font appel à un meneur (leader) à qui sont données une direction et une vitesse [Rey87]. Les autres agents ont un même objectif et un groupe : suivre le meneur en évitant les collisions. Par ailleurs, tous les agents sauf le

[Ray 99] 17 [DDL T 02]



meneur partage souvent les mêmes caractéristiques et comportements, ils forment donc une foule homogène.

## 2.4 Critères de réalisme

Nous avons vu qu'il y'a deux niveaux de réalisme, le premier traite les agents individuellement (réalisme microscopique), et le deuxième traite la foule dans sa globalité (réalisme macroscopique). Pour que le réalisme soit assuré à l'échelle macroscopique, il est nécessaire que les agents soient contrôlés. Par contre à l'échelle microscopie il est nécessaire que les agents disposent d'une certaine autonomie.

Dans cette section nous allons définir les critères de réalisme qui sont présentés dans [SOU11].

### 2.4.1 Contrôle des foules

Dans la simulation des foules le contrôle est un critère important et notamment pour satisfaire le réalisme macroscopique où dont les utilisateurs peuvent interagir ou influencer les membres de la foule.

On peut distinguer deux types de contrôles : *contrôle interactif* et *contrôle prédéfini*.

#### 2.4.1.1 Contrôle interactif

Ce niveau donne un contrôle partiel à l'utilisateur, afin ils puissent influencer le comportement des agents ainsi que le flux de la foule durant la simulation. Le contrôle interactif des personnages a été surtout appliqué aux jeux. Toutefois, seules quelques approches dans la littérature ont été consacrées au contrôle interactif de la foule.

Dans [MT01], les auteurs ont introduit la notion de guidage et donner aux utilisateurs la possibilité de contrôler le mouvement de la foule, en soumettant les agents à des événements (apporter de la nourriture) afin d'obtenir des réactions (seuls les agents affamés apparaissent) (figure 2.7).

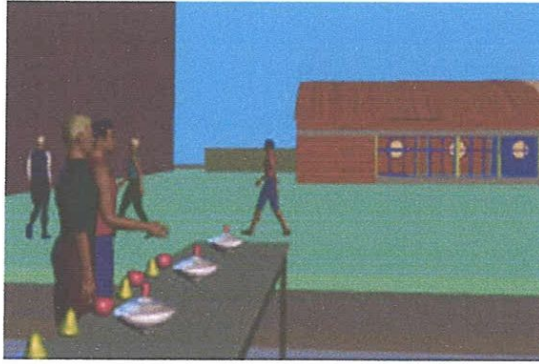


FIGURE 2.7 – Contrôle interactif de la foule [KT98].

### 2.4.1.2 Contrôle prédéfini

Contrairement au contrôle interactif, ce type de contrôle donne à l'animateur un contrôle total puisqu'il est obligé de spécifier les trajectoires et comportements des différents objets de l'animation, c'est-à-dire que l'animateur va définir au préalable l'histoire des agents dans l'environnement et ne peut interagir avec eux durant la simulation.

On trouve dans cette thématique le langage HPTS<sup>3</sup> [Don04], qui est un langage de scénarisation fondé sur des automates à état finis, il permet un contrôle prédéfini du fait que tous les états que peut prendre un agent seront tous définis à l'avance.

## 2.4.2 La communication

La communication a pour but de faire circuler les informations (figure 2.8). C'est un des critères essentiels pour réaliser une simulation réaliste que ce soit sur un plan microscopique ou macroscopique.

Par exemple dans [Bad05] lors d'un début d'un incendie les individus peuvent informer via la communication d'autres agents pour atteindre une issue (figure 2.9).

## 2.4.3 L'adaptabilité

Dans une simulation des foules, chaque agent a un rôle dans son environnement et un but à réaliser. Cependant dans des situations imprévues qui l'empêchent de se rapprocher de son but, telles qu'une situation d'urgence, l'agent doit d'abord traiter cette situation

3. Hierarchical Parallel Transition System.

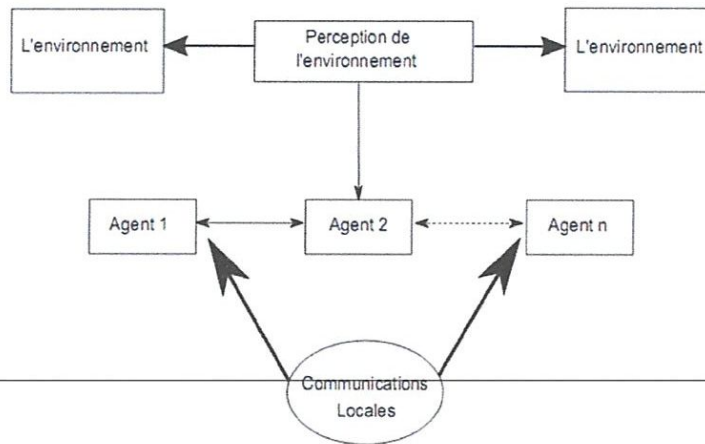


FIGURE 2.8 – La communication entre les agents [SOU11].

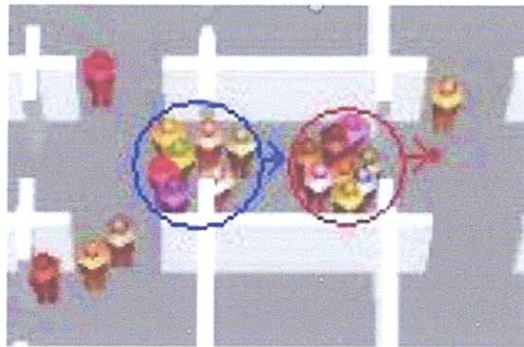


FIGURE 2.9 – Communication entre agents pour l'évacuation [Bad05].

avant de poursuivre son objectif principal.

Certaines approches modélisent le comportement des agents tels que les systèmes d'automates. Dans ce cas, on trouve HPTS++<sup>4</sup>[Don04] qui est une approche d'automates parallèles hiérarchiques où chaque état peut être composé d'un nombre d'automates fils, lesquels s'exécutent en parallèle (il permet de gérer automatiquement la concurrence et l'adaptation des comportements selon leurs importances).

Un exemple de HPTS++ est illustré par la (figure 2.10) montrant un agent autonome qui boit, fume et lit en même temps [BAD06].

4. Représente une évolution du système HPTS.





FIGURE 2.10 – Un lecteur-buveur-fumeur simulé avec HPTS++ [BAD06].

#### 2.4.4 La variabilité

Dans la simulation des foules, la variabilité réclame que les comportements des agents puissent être différenciés, c'est-à-dire que les agents peuvent être dotés des caractères qui modulent leurs comportements différents dans le même contexte.

Comme dans les travaux de Hakim SOUSSI [SOU11], dans l'exemple d'application « match de football », il a affecté à chaque agent des attributs de caractère<sup>5</sup> (par exemple, agressivité, panique, sensibilité) par la suite il a obtenu un degré de variété dans les comportements des agents dans un même contexte (feu par exemple)

## 2.5 Types de modèles

Les modèles de simulation de mouvement de foule ont été développés pour reproduire tous les comportements des piétons ainsi que les phénomènes de foule observés (voire section 2.3.1). A ce stade, plusieurs bibliographies sur les modèles de simulation de foule ont été cités, nous aborderons deux catégories : les modèles dits macroscopiques et les modèles dits microscopiques qui mettent respectivement l'accent sur les propriétés émergentes de la foule et celles, individuelles.

### 2.5.1 Modèles macroscopiques

Les modèles macroscopiques sont les premiers modèles de simulation de foule à être apparus. Ils simulent un grand nombre d'agents sans s'intéresser à leur comportement indi-

5. Les attributs de caractère représentent des états émotionnels des agents.

viduel, c'est-à-dire que la foule est considérée dans son ensemble et les agents ont un comportement collectif. 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.

### 2.5.1.1 Modèles des fluides ou gaz

Ces modèles sont basés sur la dynamique des fluides est connue dans la modélisation du trafic de véhicules. Henderson propose un modèle gazeux permettant de simuler des foules de piétons (il a remplacé les piétons par des molécules de gaz) de faible densité et assimile les états de déplacement (arrêt, marche, course) aux différents niveaux d'énergie des gaz [SOU11][PÉ11].

Ce modèle propose des formules calculant le temps d'évacuation en fonction de divers paramètres comme le nombre de piétons, la largeur des zones de circulation, la pente, ... Prenant l'exemple d'évacuation de deux pièces contenant un obstacle chacune, et qui sont reliées par un couloir (figure 2.11), où la densité des agents est représentée par une dégradation des couleurs (noir vers bleu à blanc). La couleur noir représente les zones denses, la couleur bleu pour les zones peu denses et la couleur blanc les zones vides [RC11].

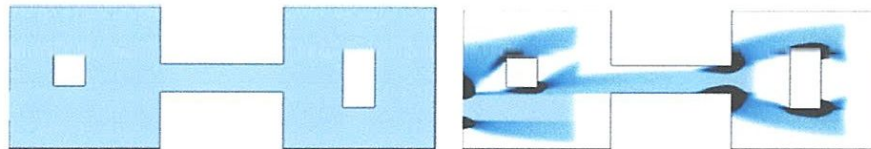


FIGURE 2.11 – Simulation d'évacuation. à droite représente l'état initial, à gauche pendant l'évacuation [RC11].

### 2.5.1.2 Modèles de flots

Les modèles de flots sont inspirés de la dynamique des fluides où les piétons sont considérés comme des particules soumises à des champs (figure 2.12).

Dans le cadre de la simulation de fluides, les agents sont simulés à partir d'un modèle qui s'appuie sur les quatre hypothèses suivantes [LEM12] :

1. chaque personne tente d'atteindre un objectif géographique.
2. les personnes cherchent à marcher à la vitesse la plus élevée possible.



3. il existe des endroits dits inconfortables que les piétons vont chercher à éviter.
4. le piéton cherchera à emprunter le chemin le moins “ couteux ”.

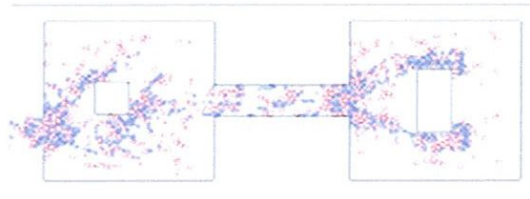


FIGURE 2.12 – Model de flot [MV07].

## 2.5.2 Modèles microscopiques

Contrairement aux modèles macroscopiques, les modèles microscopique permettent des simulations dans lesquelles chaque agent a son propre comportement, ses propres décisions et interagit avec les autres agents (gérer les agents individuellement).

Ces modèles se différencient par leur manière de prendre en compte les informations provenant du voisinage d'un agent et par la réaction de l'individu compte tenu de ces informations.

### 2.5.2.1 Modèles d'automates cellulaires

Les modèles d'automates cellulaires sont des modèles basés sur une discrétisation de l'espace en cellules, souvent carrées mais parfois hexagonales ou octogonales (figure 2.13). Dans cette grille, les obstacles sont représentés par des cellules inaccessibles, des cellules occupées par les piétons et des cellules vides.

Il y'a deux règles qui assurent le déplacement des piétons de cellule en cellule voisine à chaque pas de temps :

1. Soit les piétons se déplacent chacun à leur tour (individu par individu) de manière aléatoire ou le piéton ne peut pas se déplacer dans une cellule occupée.
2. Soit la mise à jour de la position des piétons est globale (en même temps) et le hasard est utilisé si deux piétons veulent se déplacer dans la même cellule [PÉ11].

Un modèle proposé par Burstedde et al. Qui est présenté dans [LEM12] [Thu05], où l'environnement est une grille 2D. A chaque pas de temps, une matrice 3\*3 (représentant

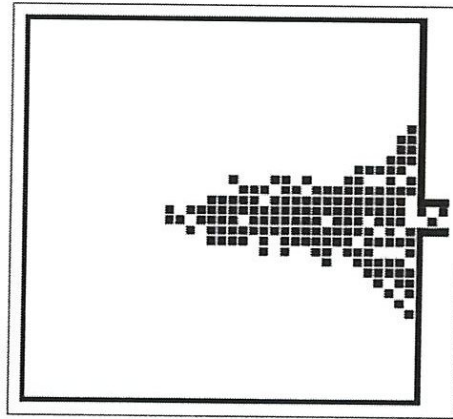


FIGURE 2.13 – Simulation d'évacuation de salle avec le modèle automate cellulaire [WG06].

la cellule courante et chaque cellule adjacente, par le coin ou l'arête) qui permet de déterminer la prochaine cellule sur laquelle l'agent va se déplacer selon une direction de préférence (figure 2.14).

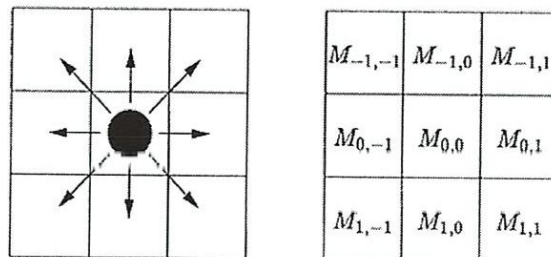


FIGURE 2.14 – Matrice 3\*3 de la prochaine cellule d'un agent [BKSZ01].

**Avantage :**

- Le modèle est extrêmement efficace et rapide pour des simulations de grandes foules (il inclut seulement des interactions avec les plus proches voisins).
- L'approche probabiliste des automates cellulaires simplifie l'expression des interactions entre piétons.

**Inconvénient :**

- L'inconvénient majeur est le manque de réalisme (le piéton donne l'impression de sauter d'une cellule à l'autre) car le mouvement des piétons est restreint par la grille.

- L'aspect discret des trajectoires qui résultent de ces modèles limite cependant leur utilisation dans le domaine de l'animation graphique.
- Ce modèle est local car les interactions entre les piétons sont répulsives pour des distances courtes.

### 2.5.2.2 Modèles à base de règles

Les modèles à base de règles « rule-based » ont été introduits par Reynolds [PÉ11] [Rey87], il est représenté par des nuées d'oiseaux pour modéliser la foule (figure 2.15). Les membres d'un groupe sont considérés comme des agents individuels ou chacun de ces agents est soumis aux règles suivantes :

1. la séparation : les agents ne collisionnent pas.
2. l'alignement : ils essaient de garder une direction et une vitesse de mouvement commune.
3. ils essaient de rester unis.

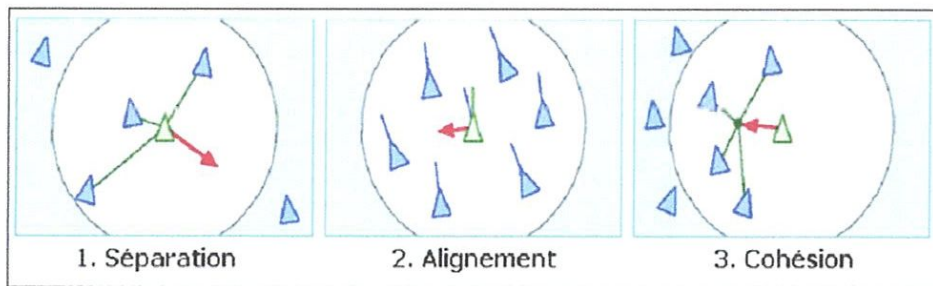


FIGURE 2.15 – Les trois règles caractérisant le comportement des oiseaux [Rey87].

#### Avantage :

- Le principal avantage de ce modèle est sa faible complexité.
- Les comportements sont exprimés à travers des règles.

#### Inconvénient :

- Il n'est pas adapté aux foules trop denses.

## 2.5.2.3 Modèles à base de forces

Les modèles à base de forces [PÉ11] [LEM12] développé principalement par Helbing qui a réalisé une analogie avec la physique newtonienne. Ce modèle permet de gérer le mouvement de chaque piéton, représenté par un disque, est soumis à des forces d'attraction et de répulsion qui agissent sur son accélération suivant la deuxième loi de Newton :

$$\sum F = m.a \quad (2.1)$$

Où  $F$  est la somme des forces appliquées à un corps de masse  $m$  et  $a$  son accélération. La force d'attraction (la force motrice) permet au piéton de se déplacer vers sa destination souhaitée. La force de répulsion (la force d'interaction) résolvant les problèmes de collision et gère les contacts piéton-piéton et piéton-obstacle (figure 2.16).

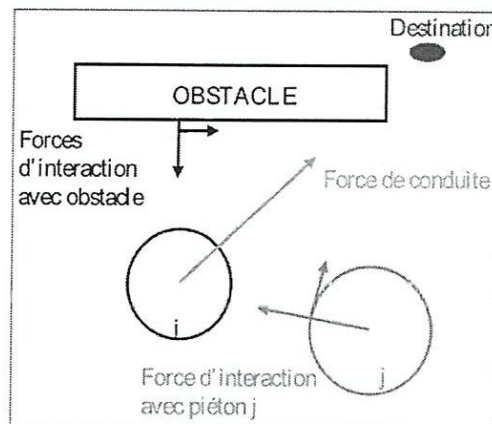


FIGURE 2.16 – Modèle à base de force [HM95].

**Avantage :**

- Le principal avantage de ce modèle est sa faible complexité.

Ce modèle est le plus réaliste car il n'y a pas de discrétisation spatiale de la zone de déplacement et les valeurs des forces sont mesurées de manière précise.

**Inconvénient :**

- Il n'est pas adapté aux foules trop denses car les piétons oscillent sur place de part l'utilisation de la force de répulsion à distance.



- Ce modèle ne fonctionne que dans le cas où les piétons se dirigent dans la même direction et ne permet pas de résoudre des problèmes comme celui illustré sur la figure ci-dessous (figure 2.17).

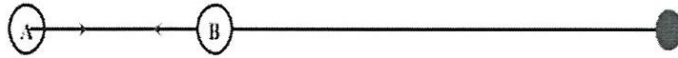


FIGURE 2.17 – Deux piétons arrivant l'un vers l'autre [Thu05].

## 2.6 Conclusion

Différents modèles ont été présentés dans ce chapitre ; les modèles macroscopiques et les modèles microscopiques

Les modèles macroscopiques sont utilisés dans le cas des foules très volumineuses, en d'autres termes on s'intéresse aux mouvements de l'ensemble de la foule ne nécessitant qu'une quantité assez faible de calculs, aussi les agents ont un objectif commun.

Les inconvénients des modèles macroscopiques sont que les caractéristiques de chaque piéton ne peuvent pas être prises en compte, comme la position du piéton, la direction de son mouvement et ses caractéristiques physiques. Aussi ils ne simulent pas les agents à l'échelle individuelle (les agents n'ont aucune autonomie).

Par contre les modèles microscopiques sont très intéressants pour représenter des scénarios très différents et variés, d'autre part l'autonomie qui caractérise les agents. Ces modèles sont en général moins adaptés aux foules très denses contenant beaucoup de piétons car la détection et le traitement des interactions piéton-piéton et piéton-obstacle peuvent être très lourdes en temps de calcul.



# Chapitre 3

## L'environnement de simulation

### Sommaire

---

<b>3.1</b>	<b>Introduction</b>	<b>29</b>
<b>3.2</b>	<b>Acquisition de l'information</b>	<b>29</b>
3.2.1	La perception	29
3.2.2	Communication	37
<b>3.3</b>	<b>Modèles comportementaux</b>	<b>38</b>
3.3.1	Le modèle ViCrowd	38
3.3.2	Le modèle MACES	40
3.3.3	Synthèse	42
<b>3.4</b>	<b>Conclusion</b>	<b>43</b>

---

## 3.1 Introduction

Dans un environnement de simulation (environnement virtuel), le mécanisme de prise de décision se base essentiellement sur la perception des différents types d'informations. C'est-à-dire que chaque agent doit collecter des informations qui permettent de décrire à la fois les caractéristiques et l'évolution de l'état local et global de l'environnement, et cela via les interactions qui lui permettent de naviguer et réagir.

Ce chapitre est consacré à la présentation de quelques modèles comportementaux existants, ainsi que les types de représentation de l'environnement à fin de représenter l'acquisition de l'information par les entités virtuelles dans leurs environnement.

## 3.2 Acquisition de l'information

Dans un environnement virtuel *statique* (par exemple des bâtiments, feu de signalisation), ou *dynamique* (par exemple les véhicules, les agents), l'acquisition de l'information joue un rôle fondamental dans la simulation de foules, où chaque agent effectue des actions via un mécanisme de prise de décision, ce dernier se base principalement sur la perception et la communication.

### 3.2.1 La perception

Dans le procédé de l'acquisition, la perception constitue un critère essentiel dans la simulation des foules, qui s'attache par le type d'information et la façon de la percevoir.

#### 3.2.1.1 Les types d'information

Dans un environnement virtuel, l'information collectée peut être :

- **Interne** : elle définit l'entité elle même et correspond par exemple à la personnalité de l'agent, son état ou encore, son rôle dans l'environnement ou dans le groupe auquel il appartient [SOU11] [MT01].

Dans [SOU11] l'auteur a simulé un match de football où les agents jouent le rôle des spectateurs qui soutiennent une des deux équipes, parmi les caractères définissant un agent on trouve *l'expansivité* (figure 3.1) (liée à un but ou à une victoire).



FIGURE 3.1 – Expansivité d'un agent [SOU11].

Dans [MT01] les auteurs ont simulé les émotions des agents (figure 3.2) (par exemple : calme, triste, heureux).



FIGURE 3.2 – Différent types de marche selon l'émotion [MT01].

Dans l'application du musée virtuel<sup>1</sup>(figure 3.3), un guide est chargé de présenter à un groupe de visiteurs l'ensemble des œuvres du musée [Don04].



FIGURE 3.3 – Image du musée virtuel [Don04].

---

1. Le musée virtuel est une application qui a été développée pour l'exposition permanente sur l'image de la Cité des Sciences et de l'Industrie, inaugurée en juin 2001.

- **Locale** : ce type d'information est obtenu dynamiquement dans l'entourage de l'agent, comme par exemple celles qui lui permettent d'éviter un obstacle, évacuation,... [SOU11]. Dans [Ami08] les auteurs simulent des piétons dans un environnement urbain. Au cours du déplacement, les piétons doivent éviter les véhicules via la perception des feux (figure 3.4).

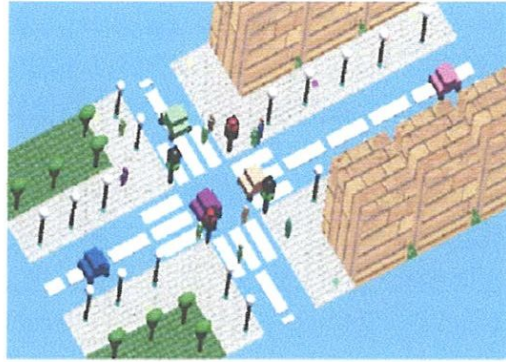


FIGURE 3.4 – Piétons dans d'un carrefour [Ami08].

- **Externe** : c'est l'ensemble des informations qui proviennent de l'utilisateur via des opérateurs de contrôle dont il dispose [SOU11].

La figure 3.5 représente les différents types d'informations collectées par un agent dans un environnement virtuel.

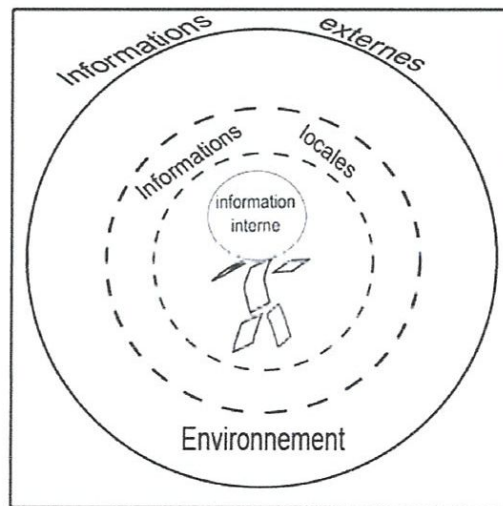


FIGURE 3.5 – Les types d'informations collectées [SOU11].



### 3.2.1.2 Les types de perception d'information

Dans un environnement virtuel, la perception de l'information est soumise à des contraintes telles que les capacités internes et sensorielles des agents. L'environnement joue un rôle décisif pour apporter des informations aux agents.

Dans ce cadre on peut distinguer deux types de perceptions : la perception visuelle et la perception basée sur les environnements informés.

**1- Perception visuelle** Dans ce type de perception l'agent collecte les informations directement via les capacités internes et sensorielles.

On peut classer ce type de perception en deux catégories :

- **Approche zonale** : Cette approche, consiste à entourer l'agent par une région qui représente la zone de perception (espaces d'influence), la perception est limitée aux seuls objets se trouvant dans cette zone [SOU11].

La taille de la zone (région) est importante car, si la zone est trop petite ça peut affaiblir l'évitement de collision. Par contre, si la zone est trop large ça implique plus de temps de calcul [Dur07].

Dans les travaux de Hakim SOUSSI [SOU11], la zone de perception est présentée sous forme d'un rectangle (figure 3.6), les agents reçoivent des informations sur les obstacles dynamiques (d'autres agents), ou statiques (murs) qui se trouvent dans leur espace.

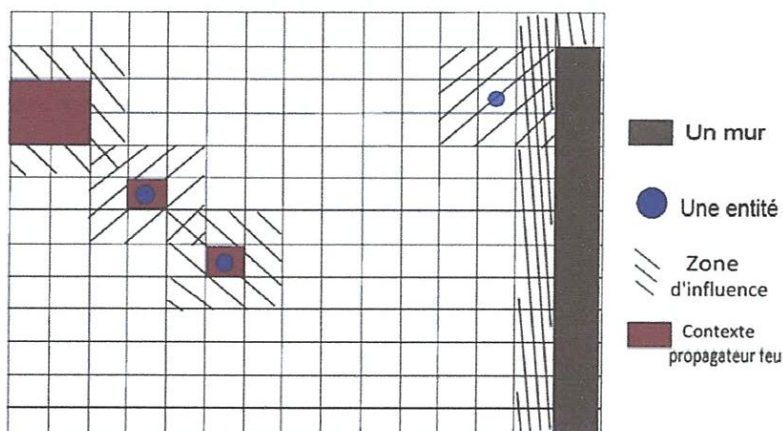


FIGURE 3.6 – Zone de perception rectangulaire [SOU11].



- **Approche sensorielle** : Cette approche consiste à équiper les agents avec des détecteurs visuels, tactiles et auditifs. Le type et l'emplacement du capteur est important pour la perception des stimuli dans l'environnement [SOU11][Dur07] .

Dans [BMMV04] les auteurs ont présenté la perception via le modèle SCA<sup>2</sup> par une fonction qui est associée à chaque agent. Elle permet la capture des signaux émis par les autres agents.

Samuel Lemerrier [LEM12], a modélisé le comportement de suivi dans une foule des piétons par le système de capture de mouvements Vicon, 12 caméras infrarouges ont été placées autour de la zone de capture. Chaque caméra perçoit une image 2D à partir des marqueurs qui sont placés dans le corps de chaque agent comme la montre la figure 3.7.



FIGURE 3.7 – Placement de marqueurs dans un agent [LEM12].

**2- Perception basée sur les environnements informés** Le couplage des informations avec l'environnement virtuel permet une représentation efficace des données. Ce type d'environnement est appelé environnement virtuel informé [FRI09].

Dans cet environnement, la perception se base sur la récupération des informations qui sont stockées dans l'environnement lui-même, c'est-à-dire associer des informations à chaque zone ou objet (environnement étiquetés), où bien stockées dans une base de données [SOU11].

---

2. Situated Cellular Agents.

La figure 3.8 illustre un problème rencontré par un agent dans un environnement à la recherche de nourriture. L'environnement est présenté sous la forme d'une grille, où chaque case contient une information sous forme numérique :

- La valeur '0' : représente les cellules praticable.
- La valeur '1' : représente la nourriture.
- La valeur '2' : représente les cellules non praticable (obstacles).

La perception de l'agent se limite aux huit cases qui entourent sa position. Quel que soit la position initiale de l'agent dans le labyrinthe, sa perception est toujours suffisante pour prendre la bonne direction vers la nourriture [PAN08]. Une autre forme pour

2	2	2	2	2	2	2	2	2
2	0	0	0	0	0	2	1	2
2	0	0	2	0	2	2	0	2
2	0	2	0	0	0	0	0	2
2	0	0	0	2	2	0	0	2
2	0	2	0	2	0	0	2	2
2	0	2	0	0	0	0	0	2
2	0	0	0	0	0	2	0	2
2	2	2	2	2	2	2	2	2

FIGURE 3.8 – Représentation de l'information sous forme numérique [PAN08]

représenter l'information est : *les annotations audio et textuelles* (figure 3.9), cette labellisation représente des liens qui amènent vers un lieu spécifique [FRI09]. D'autres environ-

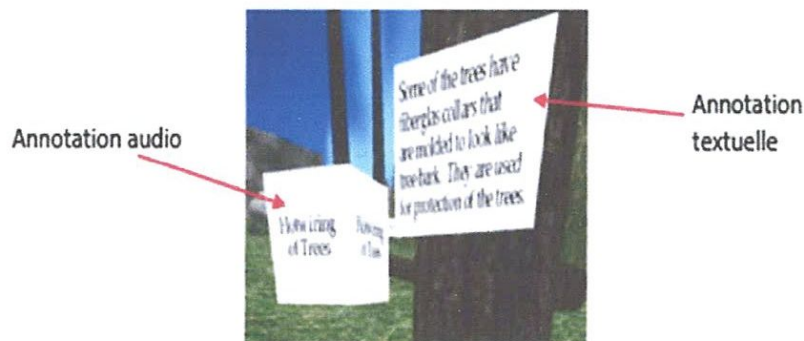


FIGURE 3.9 – Annotation audio et textuelle [BNC<sup>+</sup>03].

nements virtuels intègrent sur les objets des informations « smart objects ».

Un smart object contient ; les propriétés intrinsèques à l'objet, les informations d'interaction (actions, positions,...), les comportements que peut avoir le personnage pour réaliser les interactions (mode d'emploi).

Ces informations sont surtout orientées vers l'interaction entre des agents et des objets [SEP07].

Une autre manière de perception passe par l'utilisation d'une carte de l'environnement, qui contient les informations globales sur l'environnement, telles que des informations topologiques et des poids évolutifs sur les nœuds et arêtes de la carte (figure 3.10). Cette carte permet aux agents par exemple de prendre la meilleure direction pour atteindre leur objectif via un mécanisme d'attraction-répulsion [SOU11]. Il est aussi possible de perce-

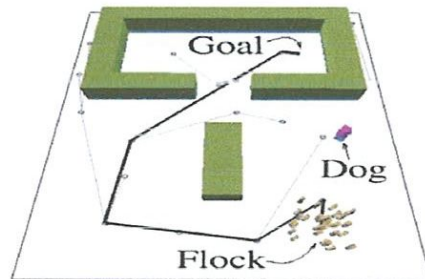


FIGURE 3.10 – La force répulsive du chien est plus élevée, ce qui oblige le groupe à choisir un autre chemin [BmLA02].

voir des informations (comme les informations géométriques et sémantiques des objets), via l'utilisation des bases de données interrogées par les agents [SEP07].

Nous avons vu que l'environnement joue un rôle important pour apporter des informations aux agents. La représentation de l'environnement est donc un point important dans la simulation des foules.

Dans ce que suite nous présenterons quelques méthodes de représentation de l'environnement :

**1- Représentation basée sur les grilles :** La représentation de l'environnement à base de grilles est simple à mettre en application. Ils permettent de traiter aisément les problèmes de collision car les agents ne peuvent se déplacer que lorsque la cellule adjacente est libre. Ils peuvent aussi contenir des informations (environnement informé) calculées par le système ou laissées par les autres agents [SOU11].



Cette représentation est utilisée par les modèles d'automates cellulaires (voir chapitre 2, section 2.5.2) dans lesquels, l'environnement est représenté par une grille de cellules uniformes (figure 3.11). Chaque agent occupe une cellule, et se déplace entre les cellules vides pour atteindre son but. Chaque cellule contient des variables qui représentent les informations sur l'environnement [PAN08].

L'utilisation des grilles de cellules provoque une mauvaise exploitation des espaces (figure 3.12), cela donne un effet peu réaliste [SOU11].

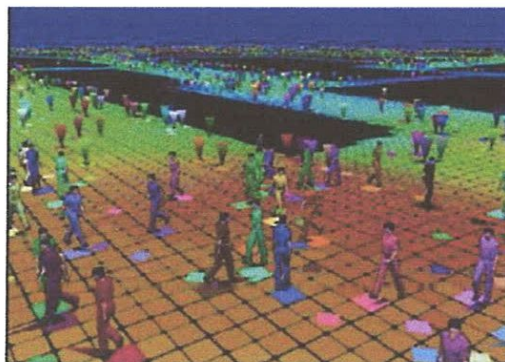


FIGURE 3.11 – Représentation basée sur les grilles [FTC02].

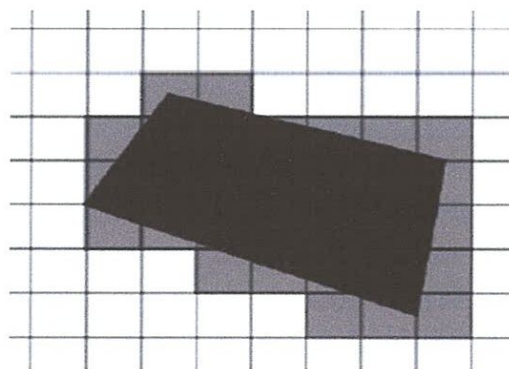


FIGURE 3.12 – Gaspillage d'espace dans la représentation basée sur les grilles [SOU11].

**2- Représentation basée sur les champs de potentiels :** Cette méthode consiste à affecter un gradient de force pour chaque point de l'environnement. Les obstacles de l'environnement sont caractérisés par une force de répulsion et les buts par une force d'attraction (figure 3.13).



Pendant le déplacement vers son objectif, l'agent peut entraîner une situation de blocage à cause de l'utilisation des propriétés locales seulement [SOU11].

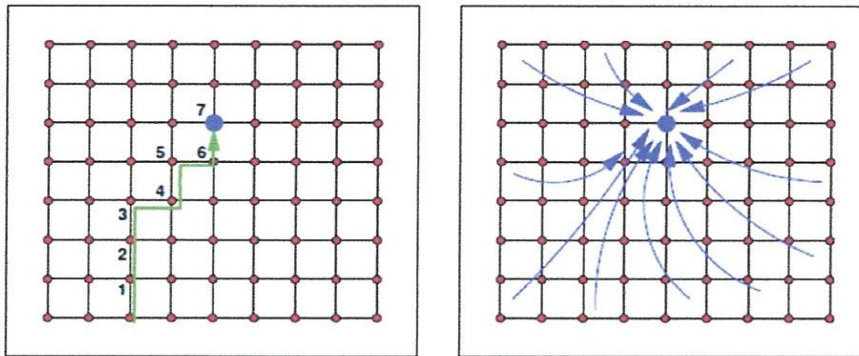


FIGURE 3.13 – à gauche la trajectoire des déplacements observées et les potentiels attribués. à droite les forces résultantes des champs de potentiels [TBS04].

### 3.2.2 Communication

Un autre moyen de perception de l'information, est la communication entre les agents. Dans [Bad05] les auteurs simulent l'évacuation d'un bâtiment (figure 3.14), les agents n'ont pas une connaissance des lieux (comme les zones bloquées, les chambres où il n'y a pas de sortie), et c'est la communication entre les agents qui leur permet de procéder collectivement à l'évacuation.

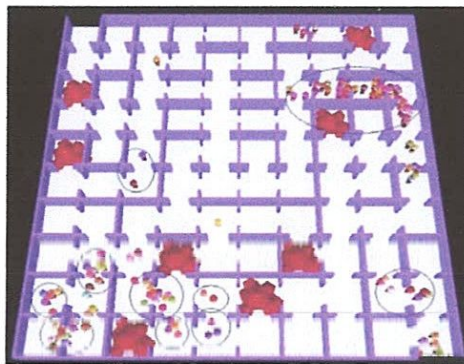


FIGURE 3.14 – Simulation d'évacuation d'un bâtiment [Bad05].

Dans [MT01] les auteurs ont présenté un exemple d'un parc virtuel, où la communication se fait via un dialogue entre un leader et la foule (figure 3.15).

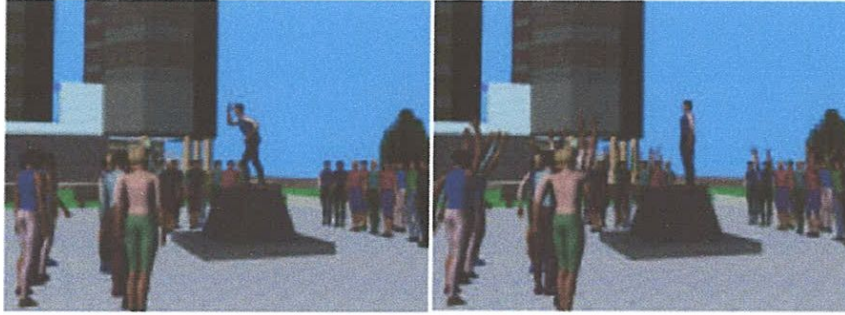


FIGURE 3.15 – Un dialogue entre un leader et la foule. « à gauche le leader parle et à droite la foule réagit » [MT01].

### 3.3 Modèles comportementaux

Les modèles comportementaux existants ont pour objet de simuler le comportement des entités vivantes qu'elles soient humaines ou animales, dans ce que suite nous présentons les modèles ViCROWD et MACES qui traitent la simulation des groupes, qui est notre objectif dans ce projet de fin d'étude.

#### 3.3.1 Le modèle ViCrowd

##### 3.3.1.1 La structure de ViCrowd

Dans ViCROWD [MTM99] une foule est un ensemble de groupes composés d'agents virtuels, où le comportement des foules est distribué aux groupes (GB), puis à l'individu (comme le montre la figure 3.16). La perception est associée au chef du groupe c'est-à-dire que les informations concernant la perception seront stockées dans une mémoire définie pour chaque groupe et traitée seulement par le chef (qui se charge aussi de la communication entre les autres chefs de groupes). Dans ce modèle le chef est choisi de façon aléatoire, où défini par l'utilisateur.

##### 3.3.1.2 Les types d'informations

On distingue trois classes d'informations qui caractérisent la foule :

- **Connaissance** : représente les informations de l'environnement virtuel (par exemple : où se trouve la foule, la position réel des objets).

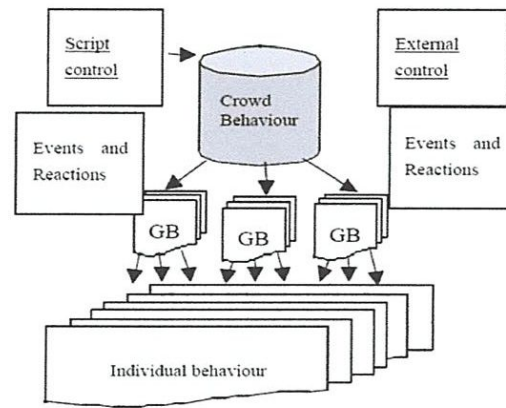


FIGURE 3.16 – Structure de ViCROWD [MTM99].

- **Statut** : représentent la liste des comportements qui doit être appliqués par le groupes (figure 3.17).
- **Intention** : représente le but ou l'objectif de l'entité (par exemple : aller vers la chaise).



FIGURE 3.17 – Différents émotions d'un groupe [MTM99].

### 3.3.1.3 Mouvement de foule

Dans ViCROWD les mouvements de la foule se base sur deux points .

- **Les objectifs (stimuli de mouvement)** : représentent les endroits où la foule doit aller, passer, faire une action ou non. Il existe deux types d'objectifs, les points d'intérêt (PI) et des points d'action (AP) (figure 3.18). Le premier représente un ensemble de points où la foule doit passer à travers. La deuxième est définie par la position, la région où des actions peuvent se produire.
- **La position des obstacles** : pendant le déplacement, les agents utilisent la position



des obstacles pour gérer les collisions c'est-à-dire qu'en déformant la trajectoire des entités via les points d'intérêts (IP).

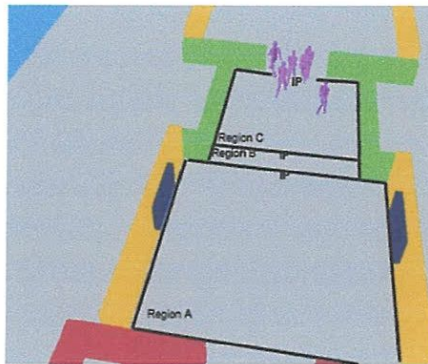


FIGURE 3.18 – Les points d'intérêt et les points d'accès [MTM99].

#### 3.3.1.4 Types de comportement et de groupes

On trouve trois types de groupes qui dépendent de types de comportement :

- **Comportement guidé** : dans ce type le contrôle de la foule est externe et introduit par l'utilisateur, et le groupe lié de ce comportement est dite «groupe guidé».
- **Comportement programmé** : ce comportement est scripté qui permet à l'avance de déterminer les actions de la foule où les entités, et le groupe lié de ce comportement est dite « groupe programmé ».
- **comportement réactif** : ce sont les événements et les réactions utilisés pour simuler le comportement de la foule devant les différentes situations, et le groupe lié de ce comportement est dite « groupe autonome ».

### 3.3.2 Le modèle MACES

MACES<sup>3</sup> est un système de simulation dédié pour l'évacuation de foules se situant dans des bâtiments. Qui utilise les notions de leader et d'expérience. Les agents leaders qui maîtrisent leur stress et sont expérimentés (ils ont une connaissance complète de la structure du bâtiment) peuvent guider les autres agents non leaders et non expérimentés vers la sortie. Le modèle met aussi l'accent sur la communication entre agents (communication du chemin le plus court menant à une sortie ou encore les chambres explorées).

3. Multi-Agent Communication for Evacuation Simulation.



Pour représenter leur connaissance, les agents sont dotés d'une carte mentale. Chaque agent a sa propre carte mentale de l'environnement (construction ou bâtiment), qui est représentée par un graphe (où les nœuds représentent des pièces, et les arcs représentent les chemins entre les pièces). Chaque agent développe sa carte mentale au fur et à mesure qu'il explore la construction et à l'aide d'un processus de communication entre les agents. Comme beaucoup de modèles comportementaux, MACES offre la possibilité de choisir le caractère des agents, ce qui permet d'avoir une certaine variété dans les comportements. Dans MACES, on trouve trois grands genres d'individus qui peuvent apparaître dans une foule lors d'une évacuation :

- les leaders expérimentés (ou formés).
- les leaders non expérimentés.
- les non leaders.

Un leader non expérimenté est un agent qui peut aider les autres durant le processus d'évacuation en cherchant de nouveaux chemins, tout en faisant évoluer sa carte mentale de l'environnement à travers sa propre expérience ou via la communication. Les agents non leaders modélisent les personnes qui perdent leurs moyens lors des situations d'urgences où ils sont incapables de prendre la bonne décision et préfèrent suivre les autres. Contrairement aux agents leaders qui représentent les personnes qui gardent leur calme (maîtrisent leur stress) lors des situations d'évacuation d'urgences. La communication entre agents est primordiale pour obtenir une évacuation rapide et efficace d'un bâtiment lors d'une situation d'urgence [SOU11].

Dans [Bad05], les auteurs ont réalisé deux expérimentations et observés la déférence, dans lesquelles ils ont simulé deux foules en utilisant peu de leaders non expérimentés contre un plus grand nombre d'agents non leaders et non expérimentés et agents non leaders et guidés par un agent leader (figure 3.19).

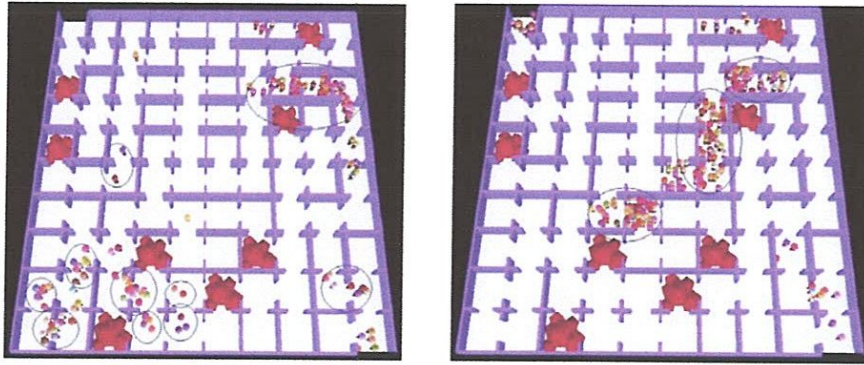


FIGURE 3.19 – Évacuation de foule. A gauche un petit nombre de leaders, à droite avec un grand nombre de leaders [Bad05].

### 3.3.3 Synthèse

Dans ce paragraphe nous présentons les capacités des deux modèles présentés dans ce chapitre envers les critères de réalisme vu au chapitre 2.

**1- Le modèle ViCROWD :** Le modèle ViCrowd simule une collection d'agents, où certains de ces agents peuvent se grouper (ceux qui ont les mêmes intentions ou buts), où le comportement des entités de la foule soit comportement programmé à l'avance d'une manière scripté où comportement guidé est introduit par l'utilisateur, ou encore permettre aux entités simulés de réagir à diverses situations de types événement / réaction (agent autonome) et la communication entre les chefs des groupes permet d'obtenir un réalisme microscopique.

**2- Le modèle MACES :** Contrairement au modèle ViCROWD ce modèle est dédié pour la simulation des foules homogènes et les groupes, où tous les membres de la foule sont soumis à un même contexte qui est l'évacuation vers les sorties, et formation de groupes constitués d'agents non leader et d'un leader. Les communications locales entre les agents permettent de satisfaire un réalisme microscopique dans la simulation. Il y'a une variabilité entre les agents, où on peut trouver les agents leaders, qui peuvent être expérimenté ou non, et les agents non leaders, qui perdent leurs moyens lors des situations d'urgences. Il est aussi destiné à un cas spécifique qui est l'évacuation d'un bâtiment lors d'une urgence, ce modèle ne considère pas l'adaptabilité du modèle pour un cas plus général (autre que l'évacuation.).

## 3.4 Conclusion

Au cours de ce chapitre on a vu l'importance de la perception ainsi que la communication dans l'acquisition de l'information. La perception visuelle se base sur les capacités internes de l'agent lui-même, ce qui offre un effet visuel très réaliste. Elle consiste à définir une zone de perception visuelle, ce qui permet de limiter les calculs à ce qui interagit avec cette zone.

L'utilisation des environnements informés permet de simplifier le mécanisme de perception, et faciliter la prise de décision du personnage, il est possible d'augmenter le nombre d'informations que l'environnement fournit aux personnages ce qui nécessite une représentation de l'environnement où nous avons vu la représentation par une grille uniforme, et à base de champs de potentiels.

Nous avons vus aussi que les modèles comportementaux présentés dans ce chapitre à travers leur type d'approche, s'intéressent soit aux foules homogènes où collection d'agent, et nous remarquons que peu de modèles réalisent un couplage entre les niveaux microscopiques et macroscopiques.

# Chapitre 4

## Présentation du modèle

### Sommaire

---

<b>4.1</b>	<b>Introduction</b>	<b>45</b>
<b>4.2</b>	<b>Composants du modèle</b>	<b>45</b>
4.2.1	Attributs de caractère	45
4.2.2	Contexte	46
<b>4.3</b>	<b>Environnement</b>	<b>48</b>
4.3.1	Représentation de l'environnement	48
4.3.2	La perception	48
<b>4.4</b>	<b>Expérimentation</b>	<b>49</b>
4.4.1	L'interface graphique	51
4.4.2	Fonctionnement du modèle (Exemple : simulation de cas)	55
<b>4.5</b>	<b>Conclusion</b>	<b>63</b>

---



## 4.1 Introduction

Comme nous l'avons vu, les membres d'un groupe partagent la même proximité géographique, et que les pensées de chaque membre sont toutes orientées vers le même but (conscience collective), et les actions peuvent se différencier d'un membre à autre. Ce chapitre a pour but de présenter un modèle simple qui simule un groupe d'amis qui se déplace dans un environnement urbain, où les membres du groupe sont soumis à des contextes différents. Les agents aussi ont une certaine personnalité grâce à des attributs de caractère.

## 4.2 Composants du modèle

Inspiré des travaux de Hakim SOUSSI [SOU11], notre modèle basé sur les deux concepts suivants ; les contextes et les attributs de caractère. Les contextes influencent les agents qui leur sont soumis pour les conduire à adopter ces comportements. Les attributs de caractère sont les attributs des agents qui leur donnent une sorte de « personnalité » pour avoir des comportements différents dans le même contexte.

### 4.2.1 Attributs de caractère

Le but principal des attributs de caractère est de générer des agents spécifiques, c'est-à-dire potentiellement différent des autres agents. Chaque agent est caractérisé par des attributs dans la vie courante (comme la position) et des attributs particuliers qui sont les attributs de caractère<sup>1</sup>(par exemple : panique, colère, faim ...).

Lors de la création d'un agent une tendance est associée à chaque attribut de caractère de l'agent (figure 4.1).

Une tendance ( $t$ ) est une valeur numérique prédéfinie entre 0 et 100. Cette valeur représente le potentiel de l'agent pour l'attribut de caractère ( $a$ ) correspondant (par exemple ; potentiel colère, potentiel de panique, . . .). Le rôle de ( $t$ ) est d'être la valeur de référence de ( $a$ ) dans le cadre de la simulation.

Au départ un agent ( $A$ ) n'a aucun comportement ni règle dans sa description. Pendant

---

1. Les attributs de caractère peuvent être vu comme une abstraction des états émotionnels ou des attributs de la personnalité [SOU11].

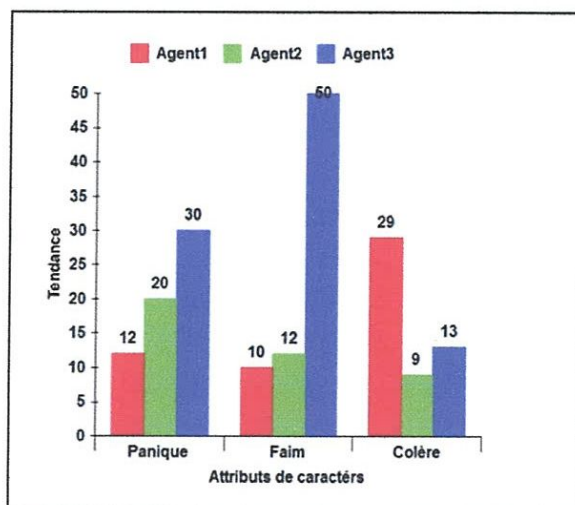


FIGURE 4.1 – Les tendances de trois agents pour les trois attributs de Caractères (panique, faim, colère).

l'animation, les valeurs des attributs de caractère peuvent changer si l'agent est influencé par un contexte (C).

## 4.2.2 Contexte

Un contexte (C) est l'ensemble des règles de comportement appliqué sur les valeurs des attributs de caractères, et dont les conclusions sont des descriptions de comportements. Ces règles doivent être appliquées par les agents qui sont soumis à un contexte, (si leurs caractéristiques respectent les conditions).

La description du contexte aussi mesuré par une valeur numérique entre 0 et 100. On distingue deux types de contexte :

### 4.2.2.1 Contexte privé

Durant la simulation, le comportement des agents peuvent se différent, on utilise se type de contexte pour représenter le comportement qui concerne chaque agent comme par exemple marcher.

4.2.2.2 Contexte global

Ce type des contextes sont perceptibles partout, par tous les agents, ce qui signifie que tous les agents leurs sont soumis. L'ensemble des contextes actifs de cette sorte est présenté dans l'environnement, dans un endroit accessible par tous les agents, sa force diminué à 0 lors de l'absence du contexte.

Les contextes globaux peuvent servir à modéliser les réactions et comportements des agents comme par exemple début d'un feu (figure 4.2). La figure 4.3 résume les différents

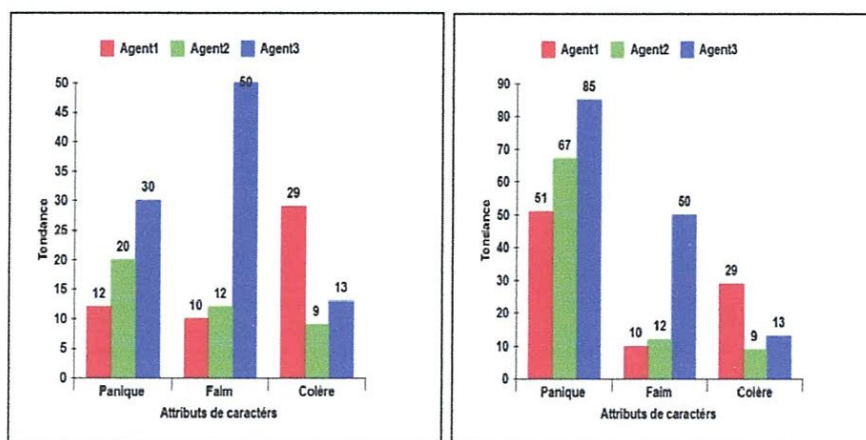


FIGURE 4.2 – Tendance de l'attribut de caractère panique. A gauche avant le contexte feu, à droite pendant le contexte feu.

composants du modèle.

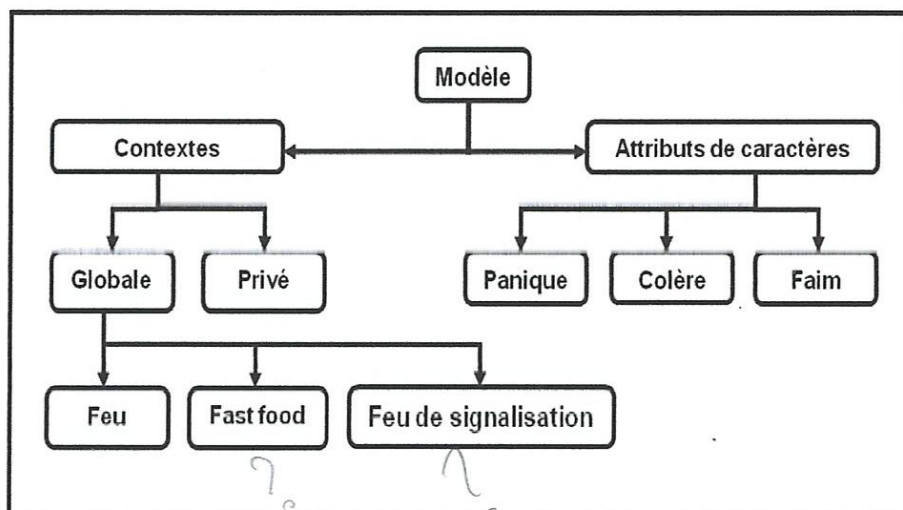


FIGURE 4.3 – Les différents éléments du modèle.



Le modèle est un ensemble de contextes et attributs de caractères. Les contextes englobent des contextes globaux et d'autres privés, les contextes globaux se figurent comme un feu où bien un fast food. Les attributs de caractères eux aussi se présentent se forme panique, colère où faim. ek ..

## 4.3 Environnement

Nous avons vu dans le chapitre 3 que l'environnement joue un rôle important et un point essentiel dans la simulation des foules.

Dans ce qui suit, nous présenterons le modèle utilisée pour représenter l'environnement de notre simulation.

### 4.3.1 Représentation de l'environnement

La représentation de l'environnement est un point essentiel sur lequel la perception de l'information se base dans notre modèle. Comme on là vu précédemment, il existe plusieurs méthodes pour représenter l'environnement celle qui est basée sur une grille de cellules uniformes où représentation basée sur les champs de potentiels. ?

Par contre dans notre modèle nous avons utilisé une représentation de l'environnement basée sur un plan à l'aide d'un repère, comme celle d'un repère d'image (figure 4.4), ce plan contient les différents éléments constitutifs du modèle, où chaque élément est caractérisé par leur coordonnées  $(x, y)$ , largeur et une longueur. La figure 4.5 représente l'architecture générale de l'environnement de simulation dans notre modèle.

### 4.3.2 La perception ?

La perception étant le moyen par lequel l'agent prend connaissance de son environnement, elle consiste à extraire des états de l'environnement et les transformer en valeurs exploitables. Cette phase joue un rôle important dans la procédure de décision, car dans le cas d'un agent, la perception est d'abord exécutée, avant que son comportement et ses actions soient exécutés, comme se présente dans la figure 4.6.



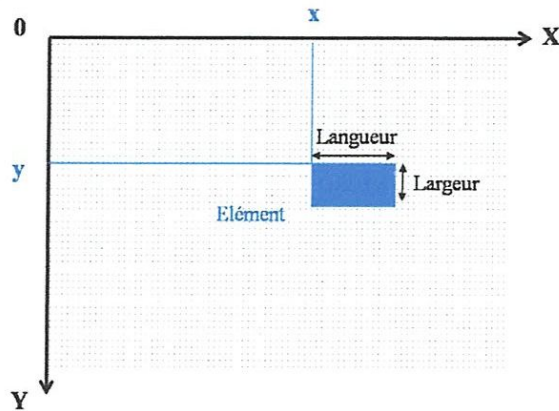


FIGURE 4.4 – Méthode de représentation de l'environnement..

Chaque agent, dans leur environnement doit percevoir les obstacles et aussi les contextes, pour gérer cette perception, nous avons construit une représentation via une approche zonale, en utilisant un espace d'influence pour chaque obstacle où contexte (figure 4.7), Cet espace d'influence est représenté sous forme rectangulaire. Chaque agent est situé dans cet espace va réagir aux événements qui se distinct selon chaque situation. Par exemple, si le contexte localisé correspond à un lampadaire qui se dresse devant lui, dans ce cas l'agent doit changer la trajectoire et éviter la collision. Par contre si le contexte localisé correspond à un feu de signalisation, l'agent d'abord doit vérifier l'état du feu avant de passer à l'autre coté de la route. À ce point, la perception dans notre modèle peut être vue aussi comme un environnement informé.

À partir de cet approche, nous faisons l'hypothèse que l'agent se déplacer vers son objectif et éviter les obstacles.

## 4.4 Expérimentation

Nous avons placé des agents dans un environnement urbain. Dans l'application, ces agents jouent le rôle des piétons qui se déplacent depuis leurs points initiaux vers un objectif (aller au cinéma). Pendant le déplacement on soumet les agents à différents contextes pour simuler leurs réactions.

Pour simuler les mouvements des agents dans cet environnement urbain nous devons décrire leurs comportements via l'environnement où ils se trouvent, alors on doit d'abord



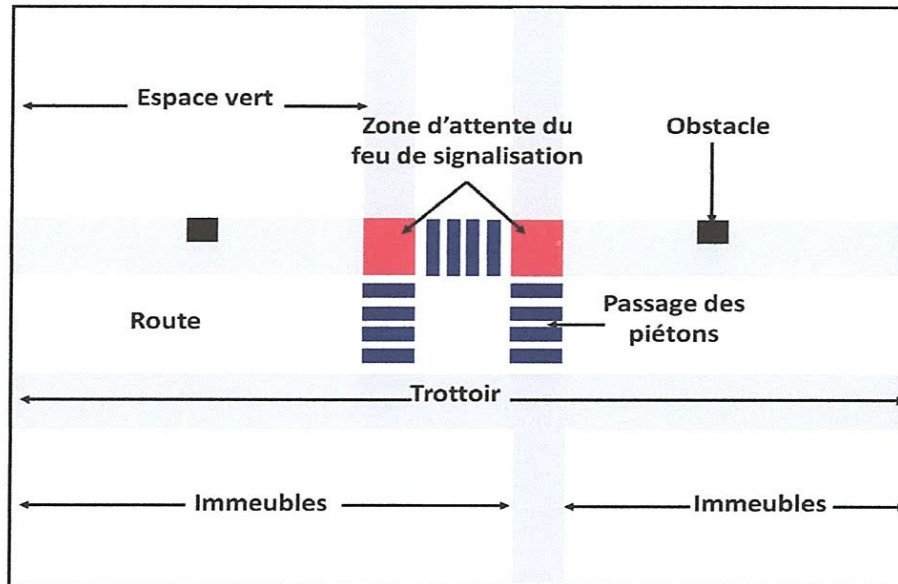


FIGURE 4.5 – Architecture générale de l'environnement.

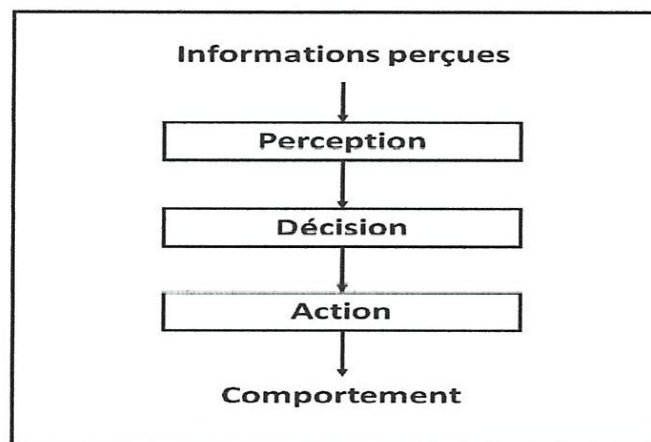


FIGURE 4.6 – La procédure de décision.



FIGURE 4.7 – Approche de perception.

spécifier la création de l'environnement et des éléments qui le composent.

### 4.4.1 L'interface graphique

On met à la disposition de l'utilisateur une interface graphique qui est l'outil de communication avec le modèle. Elle lui permet de saisir les différentes données nécessaires pour que le modèle donne les résultats attendus.

Nous avons créés l'interface comme suite :

#### 4.4.1.1 Fenêtre de contrôle

Le panneau de contrôle offre à l'utilisateur la possibilité de gérer et contrôler la simulation pour atteindre les objectifs attendus.

Nous avons décomposé cette fenêtre comme suite :

- **Page de simulation** : Cette page permet de *lancer, arrêter et initialiser* la simulation, avec la possibilité de calculer le temps de la simulation via un chronomètre, ainsi de visualiser les trajectoires empreintés par les agents (figure 4.8.A).
- **Page des agents** : Cette page contient les options qui permettent de définir les valeurs des attributs de caractères et visualiser la tendance via un graphe (figure 4.8.B).
- **Page de contextes** : Cette page offre la possibilité d'activer/désactiver les différents contextes (feu, fast food, feu de signalisation), et de définir le potentielle du contexte feu (de 0 à 100)(figure 4.8.C).
- **Page des obstacles** : Cette page donne la possibilité de définir l'emplacement des obstacles (les lampadaires) sur les trottoirs, afin de simuler la collision agent-obstacle dans différents situations (figure 4.8.D).

La figure 4.8 représente les différents pages de la fenêtre de contrôle.

#### 4.4.1.2 La scène de la simulation

La scène de simulation offre à l'utilisateur la possibilité de voir un ensemble des agents qui se déplacent vers l'objectif au sein d'un environnement urbain, toute en évitant les collisions entre eux et les obstacles.



FIGURE 4.8 – Les différents pages de la fenêtre de contrôle.



**1- Initialisation de la scène (contexte privé) :** L'initialisation est une opération primordiale pour l'établissement de l'animation où l'utilisateur donne les informations nécessaires via l'interface graphique concernant les agents et leurs coordonnées (tendance,...), les obstacles (position).

On classe les éléments qui constituent l'environnement de simulation comme suite :

**a- Éléments dynamiques :** Ces éléments sont soit les agents ou les véhicules, ils interagissent avec des éléments de même type ou avec des éléments d'un autre type.

**Les agents :** Les agents peuplant la simulation sont conçus dans l'objectif d'en faire des acteurs capables d'analyser leur situation afin de choisir les actions appropriées en fonction de leurs attributs de caractères et le contexte qui se présente devant lui. Le fonctionnement d'un agent peut se résumer en trois sous fonctions : percevoir, décider et agir. L'agent perçoit son environnement et prend une décision qui sera réalisée par une action. Le déplacement d'un point à un autre simule la tâche de locomotion (dans le cas où les agents se déplacent avec seulement un contexte privé). Les agents sont caractérisés par :

- La position initiale.
- Une vitesse (dans une situation normale, tous les agents ont la même vitesse, qui change sous l'influence d'un contexte).
- Un ensemble de tendances pour les attributs de caractères (degré de panique, degré de colère, degré de faim).

Pour représenter les agents on a utilisé trois images pour représenter les différents états pour les différentes directions de déplacement (gauche, droite, de face et de dos) comme la montre la figure 4.9.



FIGURE 4.9 – Les différentes représentations des agents pendant le déplacement.

**Les véhicules :** sont des objets qui circulent dans leur espace réservé (route). Le seul comportement modélisé est le respect du code de la route (dans notre cas est la perception des feus).

Pour représenter les véhicules on a utilisé les images comme la montre la figure 4.10.



FIGURE 4.10 – Les différentes représentations des véhicules.

**b- Eléments statiques :** Sont les objets fixes constituant l'environnement. Ils sont classés comme suit :

- **Les trottoirs :** sont des espaces où les agents peuvent se déplacé librement, traversables, ils peuvent contenir des obstacles tel que les lampadaires, les feux de signalisation. Ces derniers peuvent être considérés comme des obstacles pour un agent passant ou une source d'information pour les véhicules et les agents qui veulent traverser la rue.
- **Les passages piétons :** c'est un espace qui peut jouer deux rôles séparés; on le considère comme zone interdite aux agents et un espace traversable pour les véhicules comme on peut considérer l'inverse. Pour synchroniser entre l'accès aux passages par un élément dynamique, nous devons faire intervenir un objet nécessaire dans la simulation de la traversée de rue qui est le feu de signalisation.
- **Les passages de voitures :** pour les véhicules, c'est le seul espace associé est considéré traversable.
- **Les mobiliers urbains :** Occupent des espaces non accessibles de l'environnement, considérés comme des buts pour les agents (par exemple aller au cinéma). Ils peuvent être aussi considérés comme des contextes (par exemple un restaurant) pour simuler le comportement des agents qui ont faim.

La figure 4.11 résume les différents éléments de la scène. La figure 4.12 représente la scène de simulation de notre application.

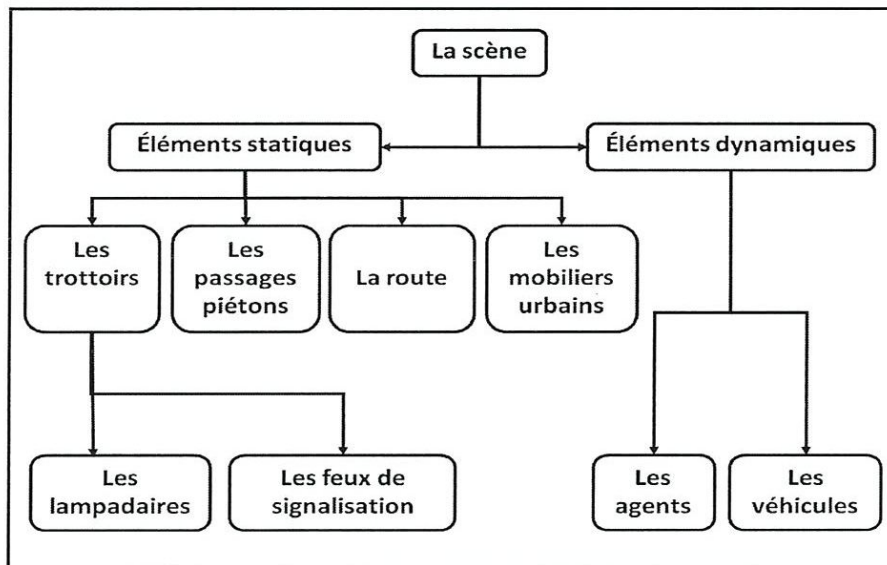


FIGURE 4.11 – Les différents éléments de la scène.

#### 4.4.2 Fonctionnement du modèle (Exemple : simulation de cas)

À la création d'un agent (A), sa personnalité est définie en donnant des valeurs de tendances pour les attributs de caractère de sa description. Au cours de sa vie virtuelle, et particulièrement au cours de ses déplacements. Lorsqu'il rencontre des contextes. Il est alors sous l'influence de ces contextes ou encore il est soumis à eux. Dans ce cas, pour chaque agent on effectue les opérations suivantes :

##### 4.4.2.1 Définition des contextes globales

L'environnement de simulation peut contenir plusieurs contextes différents. Nous nous sommes limités à trois contextes : situation normale, feu et fast food.

**Le contexte situation normale :** Dans ce cas les agents se déplacent librement dans l'environnement, sans la présence d'un contexte (oulement avec un contexte privé). La seule chose qui peut influencer sur le déplacement des agents est *le contexte localisé* (Un contexte de ce type n'est accessible que dans une zone précise de l'environnement, dite zone d'influence (voire chapitre 3). Un agent est soumis à un contexte localisé s'il entre dans sa zone d'influence (par exemple : un lampadaire), dans ce cas, l'agent sera soumis à ce contexte tant qu'il se trouvera dans son secteur (figure 4.7).



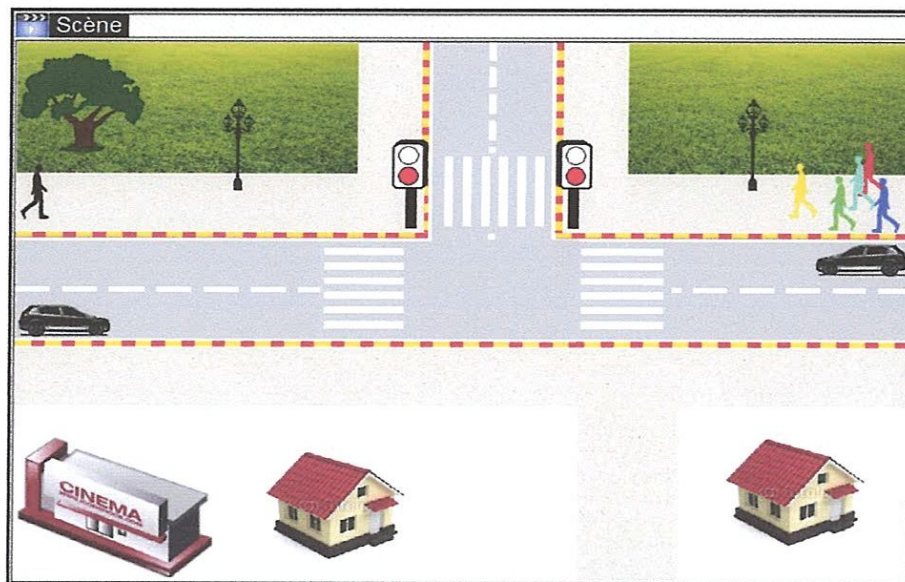


FIGURE 4.12 – Capture d'écran de la scène de simulation.

**Le contexte feu :** Ce contexte est représenté par une force de répulsion pour les agents, et a pour but de simuler le comportement fuir et mesurer le degré de panique de chaque agent. Dans notre application nous avons utilisé une image pour représenter le contexte feu comme la montre la figure 4.13.



FIGURE 4.13 – Représentation du contexte feu.

**Le contexte fast food :** Au contraire du contexte feu, ce contexte représente une force d'attraction pour les agents (seulement les agents affamés qui vont se diriger vers ce contexte). Pour représenter ce contexte, nous avons utilisé une image comme la montre la figure 4.14.





FIGURE 4.14 – Représentation du contexte fast food.

**Le contexte feu de signalisation :** Nous avons utilisé ce contexte pour mesurer le degré de colère des agents qui veulent dépasser la route, attendant le feu soit rouge.

#### 4.4.2.2 Définition des attributs de caractères

Nous avons défini pour chaque agent trois attributs de caractère : panique, colère et faim qui augmentent après la rencontre avec un contexte.

**Panique :** cet attribut joue un rôle fondamental dans la simulation, il est lié au contexte (feu). D'autre part, on peut trouver cet attribut dans plusieurs environnements comme dans les travaux de Hakim SOUSSI [SOU11] (match de football), ou encore dans les travaux de Nuria Pelechano et al [Bad05] (situation d'urgence).

**Faim :** L'objectif de cet attribut est d'implémenter la notion de guidage et donner aux utilisateurs la possibilité de contrôler le mouvement du groupe, en soumettant les agents au contexte (fast food). On peut trouver un tel guidage dans les travaux de Soraia Raupp Musse et al [MT01].

**Colère :** Nous avons utilisé cet attribut pour simuler le comportement d'un agent en situation de colère.

#### 4.4.2.3 Définition des comportements

Dans notre modèle nous assignons un comportement à chaque contexte défini, ces comportements sont respectivement : marcher (la vitesse de déplacement sera normal) pour le contexte situation normale, fuir (la vitesse de déplacement sera élevé) pour le

contexte feu, aller au fast food pour le contexte fast food et crier pour le contexte feu de signalisation. L'objectif est de générer des variétés dans les comportements des agents soumis à un même contexte.

#### 4.4.2.4 Calcul des valeurs des attributs de caractère

Les réactions et les comportements des agents sont liées aux valeurs des attributs de caractères, ces valeurs se changent en fonction de la force d'un contexte. Pour calculer la tendance courante de chaque attribut de caractères on a adopté la formule utilisé dans les travaux da Hakim SOUSSI [SOU11].

$$V_{a,A,C} = \frac{(100 - f_{C,a}) \times t_{A,a}}{100} + \frac{(f_{C,a} \times i_{C,a})}{100} \quad (4.1)$$

La valeur  $V_{a,A,C}$  d'un attribut de caractère  $a$  pour un agent  $A$  dans le contexte  $C$  dépend à la fois de la tendance  $t_{A,a}$  de  $A$  pour  $a$  et de l'influence  $i_{C,a}$  de  $C$  pour  $a$ , Il dépend aussi de la force  $f_{C,a}$  de  $C$  pour l'attribut  $a$ . Pendant la simulation, la formule doit être appliquée pour chaque attribut de caractère de  $A$ .

La figure 4.2 illustre les tendances des attributs de caractères avant est après la présence d'un contexte (comme par exemple : le contexte feu, pour l'attribut panique).

#### 4.4.2.5 Activation des comportements

Pour activer le comportement des agents nous avons utilisés l'approche par règles de comportement qui prend en entrée des informations restituant une certaine perception de l'environnement. Ces informations peuvent influencer et changer la tendance des attributs des caractères de chaque agent, qui est le stimulus pour que l'agent réagir devant une situation. Le comportement des agents est défini par un ensemble de règles de la forme : **Si (condition) alors (action)**.

#### 4.4.2.0 Exécution des comportements

Dans notre modèle l'exécution de l'ensemble des comportements activés et fait par des règles appliqués sur la valeur da la tendance de chaque attribut de caractère, c'est-à-dire après le calcul de la valeur de la tendance  $t$ , si cette valeur est dépasse une certaine seille,

le comportement sera exécuté.

Prenant par exemple trois agents A1, A2, A3 en situation normale (le comportement est marcher) ont une tendance de l'attribut de caractère panique respectivement égale à 12, 20, 36 avec une force du contexte feu égale à 50, la nouvelle valeur de la tendance selon la formule de calcul des valeurs des attributs de caractères précédente respectivement sera 39, 55, 44. Appliquant la règle suivante :

*Si  $t > 50$  alors augmenter la vitesse.*

Trouvant que, A1 reste en marche, par contre A2 et A3 changer le comportement en fuir.

#### 4.4.2.7 Traitement de collision

Durant le déplacement d'un agent d'un point à un autre, tout en suivant un itinéraire il doit éviter les éventuelles collisions. Nous avons distingué trois types de collisions, qui sont :

- **Agent – agent** : Pendant le déplacement, les agents doivent garder une distance de sécurité ( $d$ ) entre eux. Pour calculer cette distance on a utilisé la théorie de Pythagore.

$$d = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2} \quad (4.2)$$

Où  $x_1$ ,  $y_1$ ,  $x_2$  et  $y_2$  sont les coordonnées de deux agents (figure 4.15).

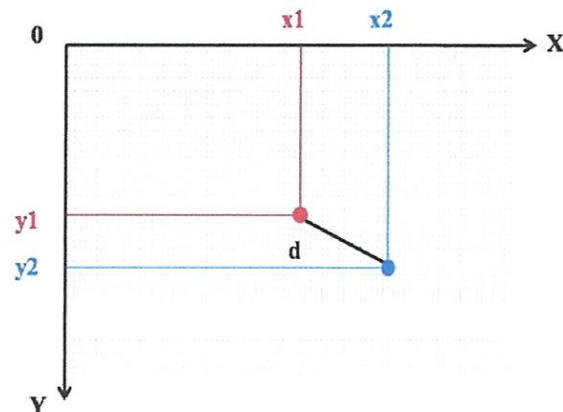


FIGURE 4.15 – La distance de sécurité.

Selon le chemin des agents, nous avons deux types de collision : locomotion et incident.

**I. Locomotion :** On trouve ce type lorsque deux agents se déplacent en succession avec des vitesses différentes (généralement le dernier plus vite que le premier), dans ce cas le dernier doit respecter la distance de sécurité et il diminue sa vitesse (figure 4.16).



FIGURE 4.16 – Collision de locomotion.

**II. Incident :** On trouve ce type lorsque deux agents veulent se déplacer vers un point commun ou la distance de sécurité n'est pas assez grande. Dans ce cas on a affecté une priorité à un des deux agents (c'est-à-dire : l'agent qui a la priorité reste en marche, alors que l'autre attend son tour) (figure 4.17).

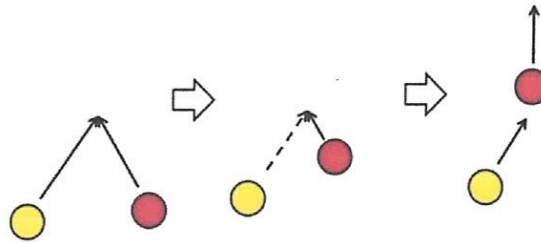


FIGURE 4.17 – Collision d'incident. L'agent en rouge a la priorité.

**III. Confrontation :** Ce type de collision se produit lorsque deux agents se dirigent dans deux directions opposées. Dans ce cas, un des deux agents doit changer son itinéraire (figure 4.18.A) Par exemple la figure 4.19.B représente une capture d'écran de la trajectoire de l'agent (en noire) évitant les autres agents.

- **Agent – obstacle :** Chaque obstacle a une zone d'influence qui l'englobe. Pendant le déplacement, si l'agent entre dans cette zone, une possibilité de collision est signalée et l'agent doit changer sa trajectoire comme le montre la figure 4.19.

Nous avons remarqué que la taille de la zone d'influence est importante. Par exemple : si la zone est trop petite, il n'y a pas de perte d'espace, mais ça peut affaiblir l'évitement de collision, par contre si la zone est trop grande ça peut produire un gaspillage de l'espace, mais une grande possibilité d'éviter les collisions (figure 4.20).



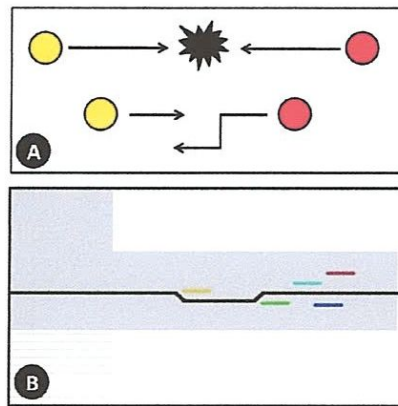


FIGURE 4.18 – Collision de confrontation.

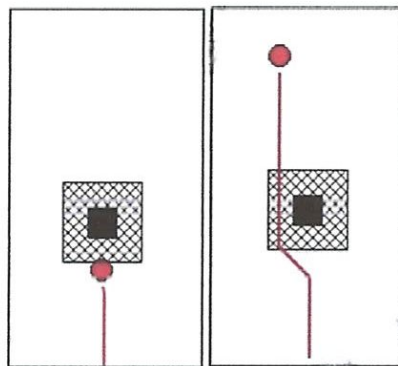


FIGURE 4.19 – Gestion de collision agent – obstacle.

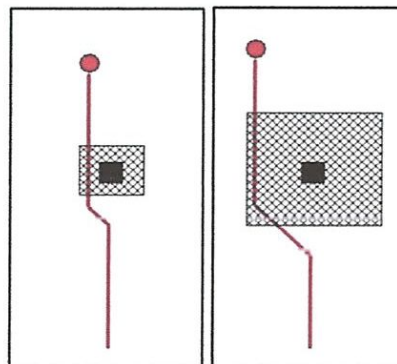


FIGURE 4.20 – L'importance de la zone d'influence.

- **Agent – véhicule** : Pour gérer ce type de collision on a utilisé un feu de signalisation, où les véhicules circulent dans leurs espaces réservés (la route), et le seul comportement est le respect du code de la route (feu rouge/arrêter, feu vert/marcher). Le même principe est utilisé pour modéliser le comportement des agents, c'est-à-dire, par la perception des feux (feu rouge/marcher, feu vert/arrête), à condition que l'agent doit être dans la zone d'attente du feu rouge (la zone d'influence du contexte feu rouge) (figure 4.21).

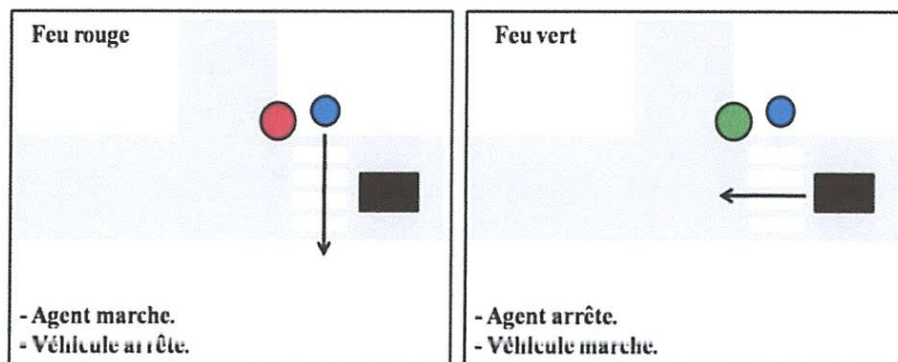


FIGURE 4.21 – Gestion de collision agent – véhicule.

#### 4.4.2.8 La cohésion

Pour simuler un groupe, il faut prendre en compte la notion de cohésion d'un groupe, car elle est la force qui pousse les membres à rester ensemble. Pour vérifier cette notion, on a adopté la même approche utilisée pour calculer la distance de sécurité, c'est-à-dire, les agents doivent respectés une distance de cohésion ( $c$ ), où :  $c > d$ .

Prenant un exemple cinq agents (A1, A2, A3, A4, A5) comme dans la figure suivante (figure 4.22).

Pour assurer la cohésion de tout le groupe il suffit que chaque agent respecte une distance entre lui et celui qui se trouve devant lui. Par exemple A1 et A2 ou encore A2 et A3. Par exemple dans le monde réel ; c'est le cas du déplacement des véhicules militaires, où les patrouilles de gendarmeries.

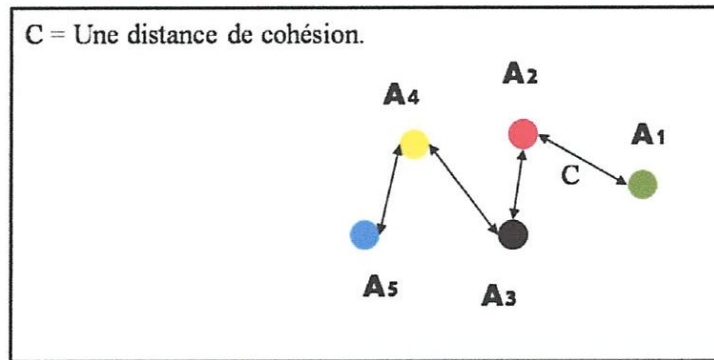


FIGURE 4.22 – Gestion de cohésion.

## 4.5 Conclusion

D'après qu'on a vu précédemment dans ce chapitre, notre modèle peut représenter différents comportements des agents dans le groupe, ses comportements donnent l'impression que les agents réagissent par soit même, mais c'est les valeurs des attributs de caractères qui mènent à une variabilité des comportements des agents soumis au même contexte.

# Chapitre 5

## Conclusion et perspectives

Dans ce travail, nous avons présenté un modèle de simulation de foules qui simule des groupes et qui a donné lieu à quelques expérimentations. Sur le plan graphique de l'animation ce n'est pas notre objectif, c'est-à-dire que nous ne sommes pas intéressés aux aspects graphiques mais aux raisons et comportements des agents dans les différents contextes.

Pour assurer le déplacement des éléments dynamiques (les agents et les véhicules), nous avons utilisé des régions via les quelles les agents ou les véhicules doivent passer à travers. Dans notre modèle la perception de l'environnement par les agents est assurée par les contextes auxquels ils sont soumis, où chaque contexte est entouré par une zone d'influence qui assure l'acquisition de l'information. L'ensemble des informations collectées joue un rôle important dans la décision où le comportement des agents est défini sous forme de règles.

Pour traiter le contrôle, au sein de notre modèle, nous avons utilisé deux principes ; d'une part l'influence des contextes qui sont représentés par une force qui est dynamiquement et modifiable durant la simulation, cela va dans le sens du réalisme macroscopique. Et d'autre part les tendances des attributs de caractères de chaque agent. Les valeurs des tendances nous permettent de représenter leur personnalité et d'obtenir des agents spécifiques (réalisme microscopique). D'après ces deux principes, nous avons obtenu une variation dans les comportements des agents dans un même contexte.

Nous considérons donc que le modèle peut traiter un certain degré de réalisme macroscopique et microscopique.



## **Perspectives**

Notre modèle a été créé et appliqué sur une représentation en 2D, une simulation en 3D sera bien plus réaliste. Il serait bien aussi que ce modèle soit utilisé pour simuler d'autres environnements comme le trafic routier par exemple.

# Bibliographie

- [Ami08] Ouannes Nesrine. Cherif Foudil. Saadi Amina. Animation des piétons dans un environnement urbain. *Sixième Séminaire National en Informatique de Biskra SNIB'08*, Mai 2008.
- [Bad05] Nuria Pelechano. Kevin O'Brien. Barry Silverman. Norman Badler. Crowd simulation incorporating agent psychological models, roles and communication. In *First International Workshop on Crowd Simulation*, pages 21–30, 2005.
- [BAD06] Marwan BADAWI. *Synoptic objects describing generic interaction processes to autonomous agents in an informed virtual environment*. PhD thesis, INSA de Rennes, Décembre 2006.
- [BKSZ01] C. Burstedde, K. Klauck, A. Schadschneider, and J. Zittartz. Simulation of pedestrian dynamics using a 2-dimensional cellular automaton. *Physica A*, 295 :507–525, 2001.
- [BmLA02] O. Burchan Bayazit, Jyh ming Lien, and Nancy M. Amato. Better group behaviors in complex environments using global roadmaps. In *In Artif. Life*, pages 362–370, 2002.
- [BMMV04] Stefania Bandini, Sara Manzoni, S. Manzoni, and Giuseppe Vizzari. Situated cellular agents for crowd simulation and visualization, 2004.
- [BNC<sup>+</sup>03] Doug A Bowman, Chris North, Jian Chen, Nicholas F. Polys, and Pardha S. Pyla. Information-rich virtual environments : Theory, tools, and research agenda. In *In : Proceedings of the ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology*, pages 81–90. ACM Press, 2003.

- [DHF00] I. Farkas, D. Helbing and T. Vicsek. Simulating dynamic features of escape panic. *Nature*, pages 407 :487–490, 2000.
- [Don04] S. Donikian. *Modélisation, contrôle et animation d'agents virtuels autonomes évoluant dans des environnements structurés et informés*. Habilitation à diriger des recherches, University of Rennes I, August 2004.
- [Dur07] Funda Durupinar. *behavioral animation for crowd simulation*. PhD thesis, university ankara.turkey, Avril 2007.
- [FRI09] Loïc FRICOTEAUX. Conception d'un environnement virtuel informé. Master's thesis, Université de Technologie de Compiègne, 2009.
- [FTC02] C. Loscos, F. Tecchia and Y. Chrysanthou. Visualizing crowds in real-time. *Computer Graphics Forum*, page 21(4) :753–765, 2002.
- [HM95] D. Helbing and P. Molnár. Social force model for pedestrian dynamics. *Physical Review E*, 51(5) :4282–4286, Mai 1995.
- [KT98] Marcelo Kallmann and Daniel Thalmann. Modeling objects for interaction tasks. In *Proc. Eurographics Workshop on Animation and Simulation*, pages 73–86, 1998.
- [LEM12] Samuel LEMERCIER. *Simulation du comportement de suivi dans une foule de piétons à travers l'expérience, l'analyse et la modélisation*. PhD thesis, Université de rennes 1, Avril 2012.
- [MOU10] Mehdi MOUSSAÏD. *Étude expérimentale et modélisation des déplacements collectifs de piétons*. PhD thesis, Université de Toulouse III - Paul Sabatier, Juin 2010.
- [MT01] Soraia Raupp Musse and Daniel Thalmann. Hierarchical model for real time simulation of virtual human crowds. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 7 :152–164, 2001.
- [MTM99] Soraia Raupp Musse, Daniel Thalmann, and Jason Morphe. Motion control of crowds. Technical report, Project Report submitted as the final work of the deliverable 5.3 (WP 5) of eRENA Project (Document eRENA-EPFL-British Telecom), Juillet 1999.

- [MV07] B. Maury and J. Venel. Un modèle de mouvements de foule. *ESAIM*, page 18 :143–152, 2007.
- [PÉ11] Philippe PÉCOL. *Modélisation 2D discrète du mouvement des piétons - Application à l'évacuation des structures du génie civil et à l'interaction foule-passerelle*. PhD thesis, Université paris-est, Décembre 2011.
- [PAN08] David PANZOLI. *Proposition de l'architecture « Cortexionist » pour l'intelligence comportementale de créatures artificielles*. PhD thesis, Université Toulouse III - Paul Sabatier, Septembre 2008.
- [RC11] Aude Roudneff-Chupin. *Modélisation macroscopique de mouvements de foule*. PhD thesis, Université Paris-Sud, Décembre 2011.
- [Rey87] Craig W. Reynolds. Flocks, herds, and schools : A distributed behavioral model. In *Computer Graphics*, pages 25–34, 1987.
- [SEP07] CYRIL SEPTSEAULT. *Représentation d'environnements virtuels informés et de leur dynamique par un personnage autonome en vue d'une crédibilité comportementale*. PhD thesis, Université de bretagne occidentale, Décembre 2007.
- [SOU11] Hakim SOUSSI. *Modèle global et paramétrable, pour la gestion des foules d'agents en animation comportementale*. PhD thesis, Université de Bourgogne, Décembre 2011.
- [TBS04] Christian Thureau, Christian Bauckhage, and Gerhard Sagerer. Learning human-like movement behavior for computer games. In *Proc. 8th Int. Conf. on the Simulation of Adaptive Behavior (SAB'04)*, 2004.
- [Thu05] DO Hiep Thuan. Simulation comportementale de la circulation à moto dans les grandes villes vietnamiennes. Master's thesis, Université paul sabatier, 2005.
- [WG06] Yu; Bing-Hong Wang; Wei-Cheng Fan Wei-Guo, Song; Yan-Fei. Evacuation behaviors at exit in ca model with force essentials : a comparison with social force model. *Physica A*, 371 :658–666, 2006.