

UNIVERSITÉ NATIONALE DU VIETNAM À HANOÏ
INSTITUT FRANCOPHONE INTERNATIONALE



Option : Systèmes Intelligents et Multimédia (SIM)

Promotion : XXII

Travail Personnel Encadré (TPE)

Rapport Final

**Simulation d'une foule en cas de crise a l'aide d'un système
multi-agent**

Oumarou Altine Mohamadou Aminou

Encadrant :

Dr Ho Tuong Vinh
ho.tuong.vinh@ifi.edu.vn

Année académique 2017-2018

Table des matières

1	Introduction générale	8
2	Analyse du sujet	8
2.0.1	Problématique	9
2.0.2	Objectif	9
2.0.3	Résultats attendus	9
2.0.4	Présentation de domaine du sujet	9
2.0.5	Le comportement cognitif	9
2.0.6	la théorie sociale cognitive	9
2.0.7	la théorie cognitive comportementale	10
2.0.8	La notion de simulation	10
3	Recherche bibliographique	10
3.1	Bilan des travaux connexes	11
4	les modèles à base d'agent	11
4.0.1	Modèle à automate cellulaire	11
4.0.2	Le modèle dynamique ESM	12
4.0.3	Le modèle SEBES	12
4.0.4	Le modèle approche par visual analytic(vidéo)	13
4.0.5	Le modèle SIG	14
5	les modèles mathématiques	14
5.0.1	le modèle à temps continu	14
5.0.2	le modèle à temps discret	15
5.0.3	le modèle à événements discret	15
5.0.4	Modèle d'approche basé sur les graphes	15
6	les modèles psychologiques	16
6.0.1	le modèle MACES : <i>Multi-Agent Communication for Evacuation Simulation</i>	16
6.1	Quelques applications existante dans le domaine	17
6.1.1	EXODUS	17
6.1.2	SIMULEX	17
6.1.3	Comparaison des quelques outils	17
6.2	Conclusion	17
7	Solution proposée	18
7.1	Présentation de solution et d'approches	18
7.2	Justification du choix	18
7.3	Présentation des amélioration	18
7.3.1	Calculs du temps d'évacuations	19

7.3.2	Les facteurs comportementales	20
7.3.3	le comportement des foules	20
7.3.4	Définition des agents	21
7.3.5	Présentation des outils de réalisation	21
7.3.6	Présentation de la plate-forme « GAMA »	22
7.3.7	Présentation du langage « GAML »	22
7.3.8	Exemple de scénarios d'évacuation	22
7.4	Plan de simulation	24
7.5	Évaluation et validation	24
7.6	Plan de travail	24
8	Implementation	25
8.1	Hypothèses	25
8.1.1	HYPOTHÈSE A (nature des foyers de danger)	25
8.1.2	HYPOTHÈSE B (champ de visualisation)	25
8.2	L'environnement	25
8.3	Extraction des différents agents du système	25
8.3.1	agent principale	25
8.3.2	agent non moins important :	26
8.4	Diagramme de classe	26
8.5	Diagramme d'activité	27
8.6	Diagramme d'interactions	27
9	Expérimentation	28
9.1	Configuration et Description des bâtiments	28
9.1.1	configuration des bâtiments	28
9.1.2	Description des bâtiments	28
9.1.3	Simulation des différents scénarios d'évacuation et Résultats	28
10	Conclusion générale	32
10.1	Perspectives	32

Liste des tableaux

1	Tableau comparatif	16
2	tableau comparatifs de quelques applications existante	18
3	Acteurs du projet	24
4	planning prévisionnel	24
5	Diagramme d'interaction	27

Table des figures

1	foule en cas de crise et catastrophes	8
2	automate cellulaire	12
3	Exemple de plan d'évacuation d'un super marché	13
4	Vue d'ensemble de l'évacuation distribuée basée sur les priorités	14
5	points de formation Arch et attraction	16
6	Schéma de haut niveau Wayfinding	19
7	Réaction comportementale	21
8	Diagramme de classe	26
9	Diagramme d'activité	27
10	les deux bâtiment avec 1000 agents	28
11	pendant l'avacuation	29
12	après l'évacuation	29
13	vitesse leader	29
14	vitesse évacuation	29
15	vitesse sortie	29
16	pendant l'évacuation	30
17	après l'évacuation	30
18	vitesse leader	30
19	vitesse sortie	30
20	personne arriver	30
21	temps moyenne d'évacuation	30

Nomenclature

- **TPE** :travail personnel encadré
- **MACES** :Multi-agent Communication for Évacuation Simulation
- **SIG** :Système d'information géographique
- **ESM** : Évacuation Model Simulation
- **SEBES** : Integration of smoke effet and blind Evacuation strategy
- **SMA** : systeme multi-agent
- **IA** :intelligence artificielle
- **PDER** : Priorité base distributed evacuation routing

Remerciements

“Je tiens à remercier toutes les personnes qui ont contribué au succès de mon travail personnel encadré(TPE).

Je voudrais dans un premier temps remercier, mon encadrant du travail personnel encadré Dr Ho Tuong Vinh, Directeur adjoint de l’institut francophone internationale rattaché à l’Université Nationale de Vietnam, pour sa patience, sa disponibilité et surtout ses judicieux conseils, qui ont contribué à alimenter ma réflexion.

Je remercie également tout ceux qui de près ou de loin contribuer directement ou indirectement a la réussite de ce travail. Mes parents, pour leur soutien constant et leurs encouragements.“

Résumé : L'étude des phénomènes de crises dans une foule, champ de recherche actuel pluridisciplinaire, ouvre l'espoir de pouvoir réguler et anticiper les phénomènes dangereux afin de mieux protéger la population. Un grand nombre d'études réalisées ont été fortement motivées par un intérêt applicatif évident dans divers domaines, depuis l'aménagement du territoire jusqu'à la planification et la gestion des évacuations dans les grands édifices. C'est dans ce contexte que se placent les travaux que nous présentons ici. Ce travail est une contribution à la simulation de la foule en des situations de crise et s'inscrit dans une démarche de prévention et d'anticipation des risques . Il nous a semblé alors nécessaire d'étudier la littérature en psychologie et en sciences sociales afin de pouvoir doter les individus que nous modélisons des facteurs psychologiques. Ainsi dans ce travail nous présentons un modèle existant qui est validé par les experts avec un nouveau modèle psychologique afin de pouvoir trouver des bons résultats qu'en au comportement des foules en des situations de crise.

1 Introduction générale

L'histoire humaine dénombre malheureusement de nombreux mouvements de foule meurtrière qui se produisent généralement suite à des perturbations environnementales, d'origine humaine voire même imaginaire. En juillet 1990 par exemple, une violente bousculade se produit dans un tunnel de Mina, au sud de La Mecque, faisant 1426 morts. En août 1994, à Brazzaville, au moins 150 personnes, en majorité des enfants meurent, piétinés ou étouffés dans un mouvement de panique à la fin d'une séance évangélisation dans une église. En août 2005 en Irak, plus de 1000 personnes participant à un pèlerinage, meurent piétinées ou Noyées dans un mouvement de panique sur un pont du Tigre à Bagdad, provoqué par une rumeur sur la présence de deux kamikazes dans la foule. En effet les catastrophes naturelles telles que les tremblements de terre, les tsunamis les vents violents causent d'énormes pertes en vies humaines et matérielles, ainsi que ceux-ci liés aux avancées technologiques causant de plus en plus des dégâts à l'échelle mondiale. De ces faits l'homme est contraint à prévoir des déménagements à tout moment en vue d'une stabilité. En effet sous l'effet de différentes crises auxquelles l'homme fait face une des situations précises le poussent à adopter certains comportements. À noter que parmi ces comportements un aspect plus important intervient à tout moment quant à la réaction de l'homme face à ces crises c'est l'aspect cognitif. En effet depuis, de nombreux travaux ont été réalisés dans ce domaine. Notre travail se positionne dans la logique de l'école Française pour la modélisation du processus de propagation de la panique, qui reprend à son compte l'hypothèse de L. Crocq selon laquelle la panique est « une épidémie psychologique ». Cette métaphore a orienté notre travail et nous a conduit à nous inspirer de différents travaux dans le domaine du comportement des foules en général et en particulier celles en cas de crise.



FIGURE 1 – foule en cas de crise et catastrophes

2 Analyse du sujet

L'analyse du sujet constitue une étape cruciale puisqu'il permet de connaître de plus en plus le fond du sujet. C'est-à-dire les domaines qui l'entourent, les problématiques, l'objectif à atteindre et enfin les résultats attendus.

2.0.1 Problématique

Il existe plusieurs études qui ont été menées à fin de comprendre la nature, le comportement de l'homme à travers certaines situations c'est le cas notamment des travaux de Ta et al, Mark et al etc... ainsi notre travail consistera à montrer sur un plan **théorique** :

- le comportement des êtres vivants face à une menace et de montrer les enjeux ainsi que les perspectives pouvant provoquer ces comportements ;
- comment comprendre les systèmes de performance en cas d'évacuation en situation de crise. Sur le plan **pratique** :
- montré à l'aide d'un modèle, différents scénarios d'une foule en situation de crise.

2.0.2 Objectif

Faire des expérimentations dans le monde réel est difficile voire impossible à réaliser en raison des risques et souvent le coût élevé auxquels ces dernières peuvent être confrontées. c'est pourquoi ces objectifs sont nécessaires :

- La conception d'un modèle proche de la réalité,
- L'identification de différentes méthodes de scénarios existant en vue d'améliorer de nouvelles perspectives pouvant apporter une solution appropriée au différent problème.

2.0.3 Résultats attendus

Comme résultats attendus, nous devons appliquer notre modèle dans le monde réel et également contribuer au développement des nouvelles méthodes permettant de mieux comprendre le comportement de foule en cas de crise et en prévoir les solutions.

2.0.4 Présentation de domaine du sujet

Il est important de comprendre le domaine dans lequel se situe notre travail à faire. c'est pourquoi ces notions sont plus que nécessaires :

2.0.5 Le comportement cognitif

La théorie de l'apprentissage cognitif explique pourquoi le cerveau est le plus incroyablement de traitement de l'information et de l'interprétation dans le corps pendant que nous apprenons des choses. En effet, cette théorie peut être subdivisée en deux (2) théories spécifiques : **la théorie sociale cognitive et la théorie cognitive comportementale.**[1]

2.0.6 la théorie sociale cognitive

Il est nécessaire de noter pour cette théorie trois (3) variables importantes :

- les facteurs comportementaux
- les facteurs environnementaux
- les facteurs personnels.

2.0.7 la théorie cognitive comportementale

Cette théorie décrit en effet le rôle de la cognition pour déterminer le comportement de l'être humain.

Des travaux de Aaron Beck montre à cet effet plus d'amples explication sur ce dernier.

Afin de comprendre le comportement de l'homme face aux crises qui l'entoure, il est plus que nécessaire d'entreprendre des modèles à base d'agents multiples pour ainsi étudier et pouvoir faire des prévisions quand au comportement de l'homme.[3]

2.0.8 La notion de simulation

Afin de pouvoir avoir une idée de comment fonctionne certaine activité et comportement lié à quelques problèmes connus dans ce monde réel il est nécessaire voir indispensable de faire des simulations.

- **la simulation** : est une sorte d'expérimentation proche de la réalité qui permet de faire de prévisions sur un sujet bien donné.

Ainsi la **simulation** est alors une activité au cours de laquelle, selon un protocole et avec un objectif précis, on utilise un simulateur pour faire évoluer les entrées d'un modèle dynamique, l'exécuter, et en recueillir les sorties. Tout modèle écrit en respectant le méta-modèle associé au simulateur et comportant au moins un paramètre d'entrée peut se prêter à ce processus de simulation.

Dans le cadre de notre sujet il est en effet primordiale de comprendre le concept de **système multi-agent** et de pouvoir faire de modèle de simulation à base d'agent dans le but de comprendre le comportement de l'homme face à certaine situation.

- **Système Multi-Agents (SMAs)** : Un système multi-agent est un système distribué composé d'un ensemble d'agents. Contrairement aux systèmes d'IA, qui simulent dans une certaine mesure les capacités du raisonnement humain, les SMA sont conçus et implantés idéalement comme un ensemble d'agents inter-agissants, le plus souvent, selon des modes de coopération, de concurrence ou de coexistence.[6]

3 Recherche bibliographique

L'état de l'art ou travail de l'existant est une partie très importante dans l'élaboration d'une étude, elle permet de mieux connaître les études existantes concernant le sujet à traiter. Alors cette étape consiste à trouver des revus scientifiques ainsi que les publications à jour dans un domaine bien déterminé.

En effet lors des situations de crise comme nous l'avons dit au début, il est à noter que souvent des situations catastrophiques déclenchent la peur qui est en effet l'une des émotions auxquelles l'ont fait références lorsqu'il s'agit d'une crise.

En effet il existe plusieurs études qui ont été menées et qui parlent en détail sur le même contexte

que notre sujet mais nous n'allons pas tous les cités. Cependant quelques travaux auxquels nous trouvons une importance considérable seront décrits.

3.1 Bilan des travaux connexes

Aujourd'hui plusieurs travaux sur les systèmes d'évacuation en cas de crise existent. Avant de voir les quelques travaux existant il est nécessaire de comprendre la formalisation logique sur les comportements des personnes lors des évacuations en des situations de crise. Ainsi plusieurs études ont montré des incohérences qui sont à l'origine des nombreuses pertes et des dégâts lors des catastrophes il s'agit notamment :

1. des incohérences dans le comportement des personnes qui ont diverses réactions quant à l'attente des experts,
2. de la pertinence et de la crédibilité des informations reçues en fonction de leur origine,
3. et également les moyens de communication quasiment inefficaces.

Dans l'optique de mieux comprendre les problématiques cités haut,ci-dessous quelques travaux :

- Le modèle à automate cellulaire
- Le modèle dynamique ESM
- Le modèle SEBES
- Le modèle approche par visual analytic(vidéo)
- Le modèle SIG
- Le modèle à temps continu
- Le modèle à temps discret
- Le modèle à évènement discret

Cette étude est basée sur deux types de modèles : les modèles mathématiques et les modèles à base d'agents .

4 les modèles à base d'agent

Les modèles à bases d'agents sont des modèles qui offrent des représentations adaptées à la complexité d'un système.

4.0.1 Modèle à automate cellulaire

Un automate cellulaire est un système composé d'un tableau de cellule ou chaque cellule représente un automate fini avec un ensemble d'état. Dans ce modèle il a été démontré un système d'évacuation d'un bâtiment en cas d'incendie à l'aide du système **EVACS**.

En effet EVACS est une application conçu en java et qui permet d'analyser le processus d'évacuation d'un bâtiment sous plusieurs configuration possibles. [15]

Avantage :

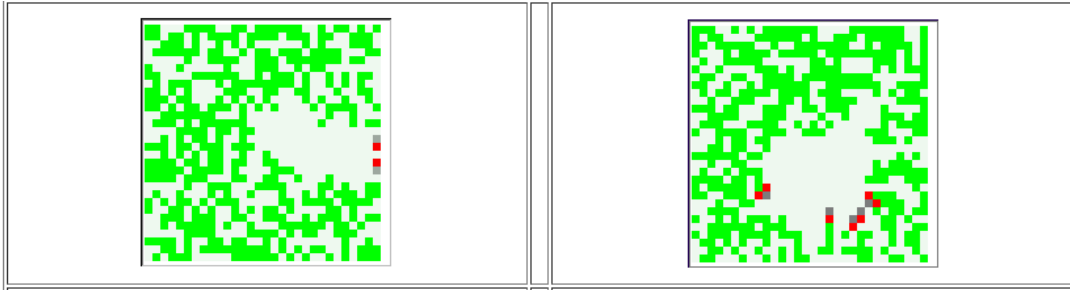


FIGURE 2 – *automate cellulaire*

- Il permet de donner une bonne approximation du système d'évacuation à celui d'une évacuation dans le monde réel.
- Implémentations du modèle dans EVAC

Limite :

- Ce modèle ne prend pas en compte les changements dynamiques structurels qui peuvent se produire pendant un processus d'évacuation,

4.0.2 Le modèle dynamique ESM

ESM :est un modèle qui peut être utilisé dans plusieurs situations pour faire des simulations dans des environnements statiques tout comme dynamique . En effet c'est un modèle qui utilise un système de programmation logiciel *STELLA* développé par (High Performance Systems, Incorporation). Il est utilisé aux USA C'est un système qui décrit le nombre d'individus dans chaque compartiment en considérant les effets du comportement des individus si nécessaire.[12]

Avantages :

- Prévoir l'évacuation par étapes
- Envisagé le mobilité des personnes handicapés
- Identifier le temps de libération d'un compartiments
- Simuler le blocage dynamique de l'évacuation

Limite : ce modèle ne trace pas les individus pendant la simulation.

4.0.3 Le modèle SEBES

Dans le souci de répondre à une préoccupation de plus en plus récurrente qui est le problème d'évacuation dans les bâtiments de grande taille,il a été mis au point le modèle **SEBES**. En effet c'est un modèle d'évacuation basé sur un agent avec une stratégie d'évacuation des fumées et d'évacuation des personnes aveugles. ce modèle prend en compte *la visibilité,la vitesse d'évacuation ainsi la propagation de la fumée* [8]

Avantages :

- Reconnu par les experts en évacuation des bâtiments,
- Considère la vitesse d'évacuation du personnel dans un bâtiment,
- Permet de mettre en oeuvre plusieurs scénarios d'évacuation avec ou sans visibilité,
- mise en oeuvre d'une stratégie d'évacuation des personnel aveugles etc ..

Inconvénients : Effet ce modèle n'inclus pas une optimisation dans la recherche d'une sortie.

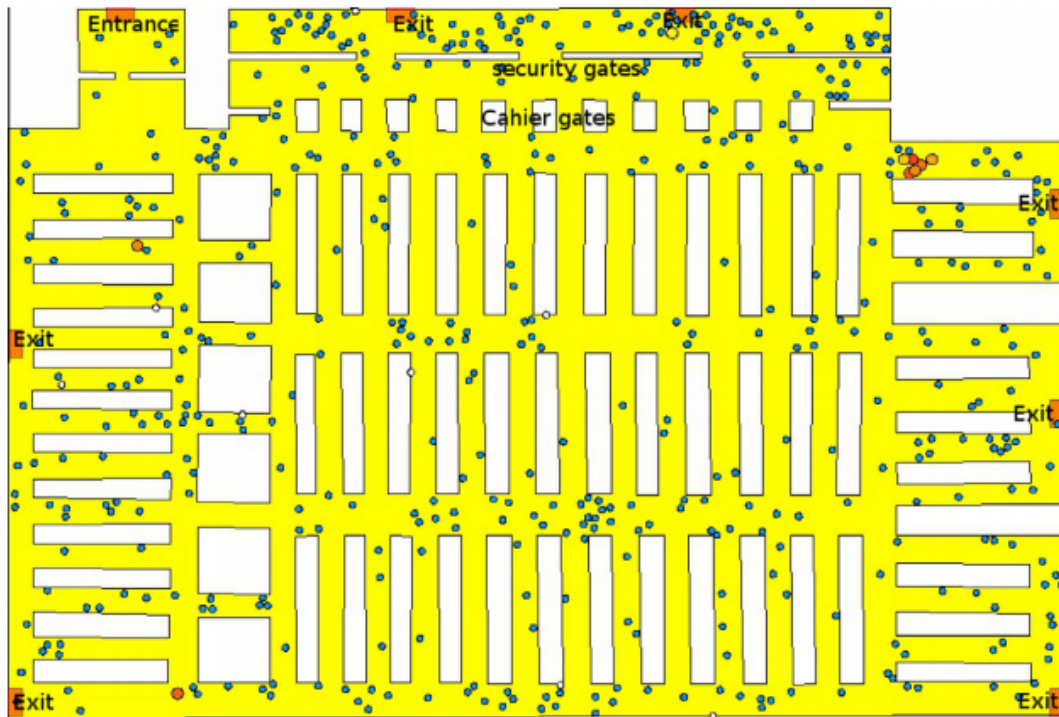


FIGURE 3 – Exemple de plan d'évacuation d'un super marché

4.0.4 Le modèle approche par visual analytic(vidéo)

Cette méthode est basé sur un algorithme **PDER** (*Priorité-based Distributed Evacuation Routing*). C'est un modèle qui génère les chemins en parallèle pour les différentes zones du bâtiment. grâce à un système d'évacuation séquentielle, il permet de prendre en compte les occupants se trouvant dans les zones dangereuse et procède à leur évacuation en priorité. [11]

Comme **Avantage** ce modèle est meilleur dans la combinaison d'analyse visuelle interactive et de l'algorithme de planification dynamique. Par contre ce modèle présente un souci en ce sens qu'il ne tiens pas en compte des algorithmes d'évacuation orienté objet vers la construction et de leurs représentation visuelles.

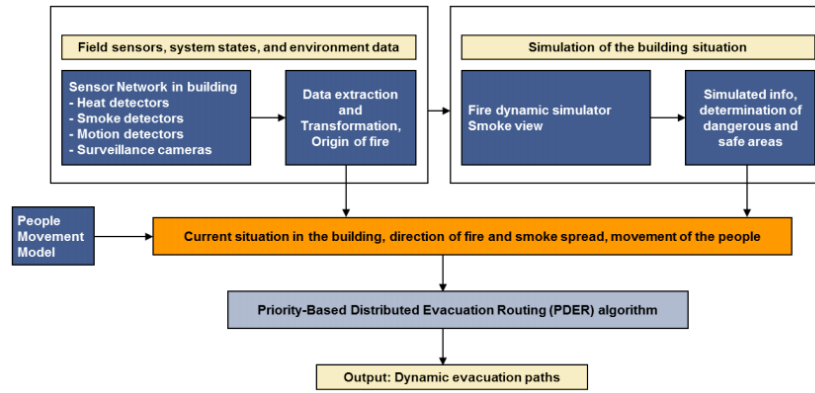


FIGURE 4 – Vue d'ensemble de l'évacuation distribuée basée sur les priorités

4.0.5 Le modèle SIG

[16] **SIG** : défini comme système d'information géographique est un modèle qui adopte une stratégie architecturale basé sur trois(3) angles à savoir :

- COUCHES D'ACCÈS :c'est la couche réservé aux administrateurs.en effet sur cette couche les autre utilisateur ont des accès limités.
- COUCHES FONCTION :c'est le coeur du modèle et est composé de module de gestion de carte,de surveillance,d'analyse d'évacuation d'urgence.
- COUCHES DE DONNÉES :comprend des données en temps réels

C'est un modèle qui réalise des requêtes ainsi que statistique et calcul de données d'information géographique.c'est un modèle a base d'agent qui met l'accent sur une description complète du scénarios d'évacuation réelle en se basant sur trois(3) facteurs essentiels que sont :

- LE FEU
- LA GÉOMÉTRIE
- LES OCCUPANTS

Avantages :Permet de visualiser directement le chemin optimal pour la sortie,et permet la prise en compte d'autre facteurs tels que (gaz toxique),Permet d'obtenir des données d'information géographique précises etc..

limites :manque de prise en compte individuels des comportement,pas d'implementation du modèle,la visibilité est aussi peu prise en compte.

5 les modèles mathématiques

5.0.1 le modèle à temps continu

Ce modèle est caractérisé par un intervalle de temps fini où le variable temps est un réel . c'est un modèle fondé sur les modèles mathématiques à base d'équation différentielle.

on note dans ce modèle qu'il n'y a pas de représentation concrète des interactions et d'actions des agents.[5]

Avantage : Ce modèle a la capacité de calculer le résultat de la simulation parce-qu'il ne dépend que des valeurs de paramètre initiaux.

Limite : pas d'adaptation à la simulation multi-agents ou le comportement des agents discrétisés.

5.0.2 le modèle à temps discret

Ce modèle est caractérisé par un axe de temps discrétisé qui suit une période constante. Dans ce modèle on a besoin des fonctions qui calculerons l'état de système à l'instant $(t+dt)$ à partir de l'état du système à l'instant t . [13]

en effet ce module utilise deux algorithmes : *SIMPLE BUFFER*, et *DOUBLE BUFFER*.

Avantage : Simplicité de l'ordonnanceur

Limite : processus d'activation statique et coût d'exécution relativement élevé .

5.0.3 le modèle à évènements discret

Pour ce modèle les changements d'états du système se font à des instants précis et de manière instantanée. Il présente comme avantage des simulations à évènements discret rapide et modulaire grâce au **DEVS** couplé. par contre l'algorithme est difficile à mettre en oeuvre. [17]

5.0.4 Modèle d'approche basé sur les graphes

Les modèles de graphes sont utilisés quand il y a une quantité importante de structure topologique telle que les pices les couloirs, les escaliers dans un bâtiment, ou quand les informations relatives restent fixes pendant des longues périodes. Le modèle graphique utilise deux algorithmes pour résoudre les problèmes d'évacuation.

algorithme 1 : IDENTIFICATION DES ENDROITS LES PLUS PERTURBATEUR DE L'INCENDIE .

dans ce algorithme la mesure de classement est liée à la perturbation d'un lieu puisque le comportement instinctif de l'évacué doit suivre le chemin le plus court vers la sortie la plus proche.

Algorithme 2 : DÉTERMINER LES NOEUDS LES PLUS OCCUPÉS LORS D'UNE ÉVACUATION .

C'est un algorithme qui parcourt tous les points de départ possibles dans le graphique et incrémente la métrique de classement de chaque emplacement visité le long du chemin.

Avantage : Il donne une représentation plus précise de ce qui peut réellement se passer dans les dernières parties d'une situation d'urgence ou la congestion commence à se produire.

Limite : la visibilité n'est pas prise en charge et aussi pas de représentation des feux et des fumées.

6 les modèles psychologiques

6.0.1 le modèle MACES : *Multi-Agent Communication for Evacuation Simulation*

Communication multi-agents pour MACES de simulation d'évacuation calcule la navigation de l'agent à deux niveaux. Le niveau élevé correspond au processus d'orientation de trouver la séquence de chambres vers une sortie, et le niveau bas correspond au mouvement local au sein de chaque pièce en utilisant les forces sociales. Pour un environnement donné, les chemins les plus courts de chaque pièce vers une sortie seront enregistrés dans l'environnement. Cette information peut représenter le chemin connu qu'une personne aurait suivi lors de l'entrée du bâtiment, ou le chemin indiqué par les issues de secours. Chaque agent aura sa propre carte mentale qui fait abstraction de la géométrie du bâtiment et est représenté par une cellule et graphique portail, où les noeuds sont les chambres et les arcs sont les portails entre les pièces.

Ce modèle utilise un algorithme de **Wayfinding** à deux niveaux :

1. De haut niveau : Wayfinding : Le but ici est de retrouver un chemin vers une sortie. Et pour cela les agents doivent effectuer différentes actions en fonction de leur rôles qui permettront d'explorer et de comprendre les caractéristiques de l'environnement.
2. Niveau bas : Local Motion cette partie se base sur le modèle Helbing [4] qui décrit le comportement de la foule humaine avec un mixte de forces socio-psychologique et physique. Avec la formule suivante les individus essaient de garder une distance d'autres individus j et des murs avec l'aide des forces d'interaction F_{ij} et F_{iw} .

$$m_i \frac{dv_i}{dt} = m_i \frac{v_i^0(t) e_i^0(t) - v_i(t)}{\tau_i} + \sum_{j \neq i} f_{ij} + \sum_w f_{iw}$$



FIGURE 5 – points de formation Arch et attraction

Avantage et inconvénient

Ci-dessous le tableau illustratif

AVANTAGE	INCONVÉNIENT
-mouvement local (éviter d'obstacles, l'élevage, etc) -Mémoire (cartes mentales) -services d'affichage (2D et 3D, à la fois en temps réel) -Animations -Module wayfinding	-les agents individuels sont limités avec des rôles distinct

TABLE 1 – Tableau comparatif

6.1 Quelques applications existante dans le domaine

Dans le souci de répondre aux problèmes récurrents de système d'évacuation des bâtiments en cas de crise, plusieurs applications ont vu le jour afin d'y apporter des solutions adéquates. Ainsi ci-dessous quelques exemples les plus connus des travaux de ces dernières années :

6.1.1 EXODUS

Est conçu pour permettre la simulation de l'évacuation d'un grand nombre d'occupants de différents lieux ou bâtiments et a été développé par les génies de la sécurité incendie, groupe de l'université de **GREENWICH**.

Cette application a comme avantage le fait qu'elle peut suivre la trajectoire de tous les occupants en cas d'évacuation. EXODUS comprend une suite de progiciels adaptés aux environnements du bâtiment, maritime, ferroviaire et aérien. Les capacités pionnières du logiciel EXODUS et les recherches entreprises pour développer le logiciel ont été reconnues par un certain nombre de récompenses majeures, notamment :

- la Médaille d'or de la British Computer Society pour l'informatique en 2001,
- le prix Bronze 2010 de la Royal Aeronautical Society, la médaille de distinction 2013 de l'institution royale des architectes navals,
- le prix IST 2004 décerné par Euro-CASE etc..

6.1.2 SIMULEX

Grâce à l'utilisation de l'analyse spatiale, il se concentre sur les aspects physiques des occupants et leurs effets lors de l'évacuation des bâtiments. [14]

Simulex permet :

- Détermine l'espace du bâtiment,
- Définit les voies d'évacuation,
- Permet d'identifier les individus (personnels caractéristiques et leurs emplacements précis)
- Incorpore les effets de réduction de la vitesse dus à la population environnante.

Simulex est un outil qui permet dans la simulation d'avoir une visualisation de plus en plus variée (**3D, 2D**).

6.1.3 Comparaison des quelques outils

Dans le souci de mieux connaître les applications intervenant dans la simulation, il est nécessaire de faire une étude comparative de ces dernières montrant ainsi leur diversité.

6.2 Conclusion

Au regard de tout ce qui précède, l'étude bibliographique est plus que nécessaire dans un travail personnel encadré (TPE) en ce sens qu'il permet non seulement de connaître mieux la

modèle	collusion	temps	méthode comportement	choix itinéraire
Exodus	no	no	automate-cellulaire	chemin court
Similex	yes	no	distance plan	chemin court
Aseri	yes	no	distance entre personne	chemin court
PedGo	no	yes	automate cellulaire	defini par utilisateur
AnyLogic	yes	yes	modele comportemental	chemin court
Legion	no	no	distance entre personne	conditionnel
STEPS	no	no	automate cellulaire	conditionnel
Massive sw	no	no	règles+Logique floue	indefini
Mass Motion	yes	yes	modele comportemental	chemin court

TABLE 2 – *tableau comparatifs de quelques applications existante*

profondeur du sujet en question a travers les études déjà faites sur le sujet mais aussi d’envisager des solutions possibles quant à l’amélioration de la résolution des problématiques citées hautes.

7 Solution proposée

Cette section consiste à proposer une ou plusieurs solutions à travers les travaux connexes étudier en étude bibliographique. La solution proposée est donc basée sur l’état de l’art ajouté de notre propre amélioration. Nous avons vu dans l’étude connexe que les modèles mathématiques et ceux à base d’agent accordent chacun de son coté une importance considérable à des niveaux différents de réponse au système d’évacuation en cas de crise.

7.1 Présentation de solution et d’approches

Notre solution que nous allons proposé consiste à une simulation est une modélisation à base d’agent.nous allons nous inspiré du modèle a base d’agent axé sur le modèle de base [SEBES] et un modele basé sur le comportement psychologique nommé [MACES]. Notre objectif ici est d’être en mesure de couplé ces deux modèles et de comprendre les potentiels dynamique entre les individus (**agents**) qu’ils adoptent, leur comportement dans un environnement de simulation.

7.2 Justification du choix

Le modèle à base d’agent offre une grande flexibilité par rapport aux nombreux formalismes qui peuvent coexister ces entités possèdent leurs propres comportements et qui sont appelé agents et forment un modèle qui une fois simulé peut conduire à l’émergence d’une structure globale.

7.3 Présentation des amélioration

Comme nous l’avions dit au début le modèle au quel nous nous inspirons est un modèle qui fonctionnent très bien. Néanmoins il serai très intéressant pour nous d’apporter des améliorations.En mettant en jeux la solution proposé par le modèle *MACES* qui utilise un algorithme qui

permet a un agent quelconque de pouvoir déterminer un chemin approprié en vue de trouver une meilleur sortie. ce modele a deux niveau distinct dont un de haut niveau appelé **Wayfinding** et l'autre de bas niveau appelé **Local Motion** qui a son tour se focalise sur la distance séparant les individus l'un de l'autre. Avec l'algorithme de wayfinding ci-dessous couplé au modèle a base d'agent de **SEBES** ,nous pouvons avoir des bon résultats quand au comportement qu'on peut observer lors d'une situation de crise.

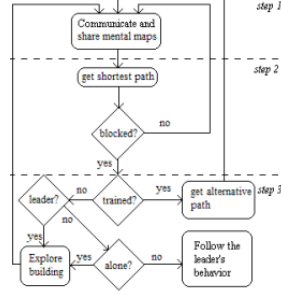


FIGURE 6 – Schéma de haut niveau Wayfinding

7.3.1 Calculs du temps d'évacuations

1. Le temps total d'évacuation d'un bâtiment peut être décomposé en temps net d'évacuation, terme qui désigne le temps strictement dédié au déplacement vers la sortie, et en temps consacré à des activités dites "**comportementales**". Cette deuxième composante,

$$\text{Temps total d'évacuation: } T_e = T_{net} + T_{comportement}$$

souvent aussi importante, si ce n'est plus, que la première, regroupe les éléments suivants :

- Temps de latence : temps entre la déclaration de l'incendie et sa perception,
- Temps de préparation ,
- Temps consacré aux tentatives d'extinction ,
- Temps consacré au traitement des informations et aux prises de décision,
- Temps de recherche de l'itinéraire à emprunté.

2. Temps réel d'évacuation : Nelson & MacLennan [7] définissent de manière similaire :

$$\text{Temps réel d'évacuation: } T_{re} = T_{ce} \cdot e$$

T_{ce} : Temps calculé d'évacuation

e : coefficient d'efficacité apparente

Le coefficient d'efficacité correspond approximativement aux mêmes activités que le temps $T_{comportement}$, introduit précédemment.

7.3.2 Les facteurs comportementales

On remarque que dans les situations extrêmes de crise chaque individu exprime ses émotions de manières très différentes. Ainsi les données qui permettent de calibrer le modèle sont très rares et se contredisent parfois. De ce fait on peut distinguer deux groupes de données quantitatives à savoir celui relatif aux pourcentages de personnes adoptant un certain type de comportement et celui relatif à la durée du comportement.

De prime abord on lors d'une crise, dans d'un contexte bien définie on remarque les différents individus qui compose cette foule prennent soit la fuite en cherchant les issues des secours leur permettant rapidement de vidé les lieux en évitant les obstacles sur leur chemins. Subsidiairement, on constate parfois la présence des personnes qui peuvent souvent apporté assistances aux autres en vue de sauvé le maximum de personnes possibles.

De ce fait il est important de dénombrés les différents agents ainsi que leurs rôles dans ces situations de crise. Vu que notre modèle est basé sur les agents ,il est important de noté ce que les agents cognitifs ont un rôle très important dans ces genre de situations. **BDI** (Belief Desire Intention).

- **Belief** : ce que l'agent croit être vrai sur le monde qui l'entoure
- **Desire** : c'est qu'on pense être vrai ou non.
- **Intention** : quel désir peut être vrai c'est a dire pourvoir décider de sois même de ce qu'on pense être bien pour soi.

7.3.3 le comportement des foules

La compréhension des comportement des foules dans des situations de d'urgence est indispensables avant la mise au point d'un scénarios de simulation. En vue de trouver des bonnes réponses quand au comportements des foules nous allons examiner le phénomènes à trois niveaux différents mais qui sont intimement liés les uns des autres.

1. **L'individu** : Du point de vue psychologique cognitive humaine, les comportements d'un individu peuvent être considérés comme les résultats de son processus de prise de décision. Un aspect important dans le déplacement des individus, est l'orientation spatiale dans l'environnement ce que désigne le terme anglais way-finding .Cet aspect est capital lors de l'évacuation puisqu'il assure la recherche d'un itinéraire susceptible de conduire la personne vers la sortie ou l'abri le plus proche. C'est un processus cognitif dépendant de divers paramètres psychologiques, sociaux et culturels et par conséquent sensible aux soudaines perturbations de l'environnement.
2. **Les interactions entre les individus** : [9] Du point de vue de l'interaction sociale, sont façonnées par les structures sociales des comportements sociaux d'un individu en suivant les identités sociales. D'autres facteurs cruciaux qui influencent également fortement l'interaction sociale humaine incluent le respect de l'espace personnel et le principe de la preuve sociale.
3. **Le Groupe** : [10] En regardant une foule ou un groupe au sein d'une foule comme une entité, nous pouvons identifier de nombreux facteurs importants qui peuvent contribuer

à des comportements de foule. Des exemples de tels facteurs peuvent inclure : la densité de la foule, les contraintes environnementales et les contraintes mentales imposées par les pairs.

7.3.4 Définition des agents

Nous dénombrons plusieurs types d'agents qui interviennent dans le systèmes ,et sont regroupés en deux principaux catégories *important et non moins important*.

1. Important : C'est sont des agents qui interviennent directement dans la simulation et qui sont indispensables.il s'agit entre autre de :
 - Alarme : qui se déclenche une fois le danger aperçue,
 - feux : qui une fois déclenchée ,alors l'alarme sonne,
 - la fumée : qui peut empêché la vue des personnes se trouvant dans l'endroit du danger,
 - panneau de sécurité : qui montre les portes de secours,
 - les personnes : les personnes qui se trouvent l'endroit de la crise.
 - agent de secours : c'est sont les personnes qui peuvent montrés les issus de secours au lieu de la crise.
2. non moins important
 - les portes de sorties,
 - les murs,
 - l'endroit de la crise

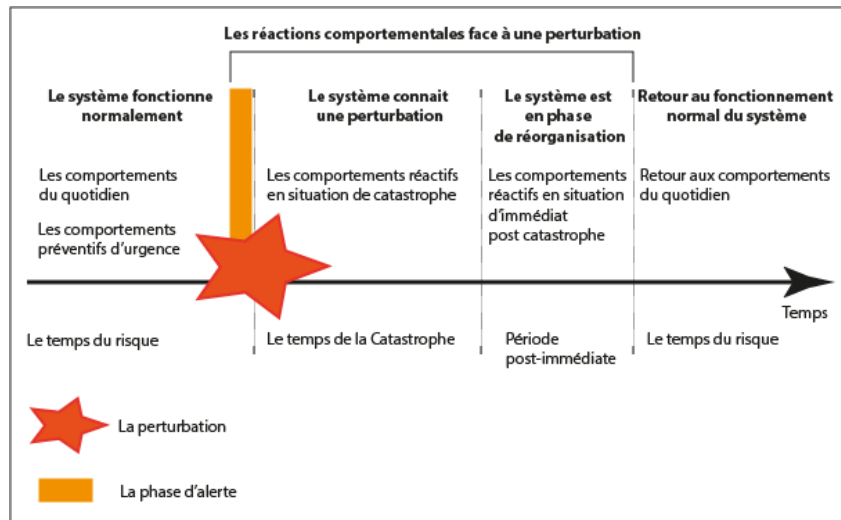


FIGURE 7 – Réaction comportementale

7.3.5 Présentation des outils de réalisation

Plusieurs outils sont indispensables dans la réalisation de ce projet.nous citons entre autre :

- **Plate forme de simulation** : GAMA version 1.6
- **Outils de conception** : draw.io version en ligne
- **Langage d'implémentation** : GAML

7.3.6 Présentation de la plate-forme « GAMA »

GAMA (Gis Agent-based Modelling Architecture) est une plate-forme libre de modélisation et de simulation à base d’agents développée en 2007. Elle permet de construire un modèle très simple ou complexe selon la complexité du système. Sa particularité est qu’elle offre un Environnement de Développement Intégré complet et qui est très efficace dans la gestion des espaces.

7.3.7 Présentation du langage « GAML »

GAML est un langage orienté agent. En d’autres termes il permet de décrire et d’implémenter un agent à partir d’un modèle dans la plate-forme de simulation GAMA.

Nous savons qu’au moment d’une crise dans un environnement bien donné, et en vue de mieux gérer cette situation remarquons ces éléments combien important :

leader : est un agent clé, en ce sens qu’il est considéré comme étant l’agent qui connaît mieux les plans de l’évacuation. Cet agent est censé rassembler le plus important possible d’évacué avant d’atteindre le point de sortie.

évacué : c’est un agent simple qui a la capacité d’aller vers la sortie ou de se perdre.

7.3.8 Exemple de scénarios d’évacuation

Notre modèle propose plusieurs scénarios possibles en tenant en compte plusieurs facteurs, à savoir la fumée, les panneaux de signalisation, etc...

1. Récapitulatif de comportement possible d’individus dans une catastrophe

Mode de prise de connaissance de la catastrophe	Action entreprise
Sentir puis voir la fumée	Fuite
Entendre un bruit et sentir une chaleur	Quitter le local
Porte de sortie bloquée	Sortir par la fenêtre
Sentir des secousses	Quitter la maison
Croire que l’immeuble va s’écrouler	Quitter l’immeuble

Pour les différents modèles de scénarios nous allons choisir un bâtiment grand public qui nous permettra de trouver plusieurs réponses possibles quand aux différents tests que nous allons mener.

- Scénario A : C’est un bâtiment public qui dispose de deux sorties principales, avec peu d’obstacles. Lorsque le feu se déclenche, et que la fumée se propage alors les personnes essaient d’emprunter les voies de sortie. Parmi ces personnes il y a celles qui sont tentées par

la curiosité et essayent d'attendre voir la gravité avant de décider de sortir. Il y a également celles qui sont hantées par la panique par conséquent elles n'arrivent pas à emprunter les voies de sortie d'elle-même.

D'autres par contre continuent à faire des vas et viens jusqu'à trouver les panneaux qui indiquent les sorties.

3. Scénario B : Pour ce cas suivant l'évacuation est basée sur différents agents qui peuvent s'y trouver sur place. De ce fait nous distinguons deux principaux agents qui sont : **leader** et les agents **normaux**. Le leader simulé est en mesure de trouver ceux qui ne bougent pas et les encourager à le faire, identifier et avertir verbalement ceux qui se dirigent dans la mauvaise direction, et se joindre à un groupe de personnes évacuées à leur sortie une fois qu'il est déterminé que tout le monde évacue correctement. Dans le scénario pour les dirigeants en utilisant le « Suivez-moi la méthode, » le leader a également diverses capacités, y compris la capacité d'identifier les personnes évacuées les plus proches de lui au début de la période de sortie et les conduire à la sortie, attendre jusqu'à ce que ceux qui sont tombés derrière récupèrent avant de poursuivre vers les sorties.

7.4 Plan de simulation

En vue de tester notre modèle, nous allons simuler une situation d'incendie qui va être implémentée à l'aide de la plate-forme GAMA. De ce fait nous avons choisi un environnement d'incendie puis effectuer les tâches ci-après :

1. Créer l'environnement de simulation,
2. Créer des agents caractérisés par un certain nombre de paramètres de manière à avoir une population différenciée,
3. ensuite lancé des simulations d'après le modèle implémenté avec différents scénarios prédéfinis.

GROUPE	NOM-PRÉNOM	FONCTION
Encadré par	M.Vinh HO	Enseignant IFI
Projet	Oumarou Altine Mohamadou Aminou	Etudiant IFI

TABLE 3 – Acteurs du projet

7.5 Évaluation et validation

Il existe plusieurs manières de valider un modèle. Pour notre cas de figure, nous avons opté pour les consignes des recommandations des experts. Sa consiste d'abord à lancer la simulation sans appliquer aucune des règles, puis relancer l'application et visualiser les résultats en vue de voir s'il y a amélioration ou pas. Si le lancement de la deuxième application permet d'avoir un meilleur résultat alors le modèle est validé.

7.6 Plan de travail

Dans l'optique de mieux entamer la partie pratique de notre modèle il est important de prévoir un calendrier en vue d'acheminer la solution proposée.

Acteur du projet : comme le montre la table 1 c'est toutes personnes intervenant dans la réalisation du présent projet, qu'il soit morale ou physiques.

Le planning prévisionnel l'élaboration d'un bon projet passe inévitablement par le respect et l'établissement d'un planning de prévision qui doit se faire en accord avec les superviseurs ainsi que de leur disponibilités.

Travaux	Durée	Acteurs
Conception	21	projet et pilotage
Apprentissage en langage Gaml	60	projet
Définition des hypothèses et scénarios	14	projet et pilotage
simulation , évaluation et analyse des résultats	14	projet et pilotage
Rapport final	14	projet et pilotage

TABLE 4 – planning prévisionnel

8 Implementation

De prime abord dans cette section il est preferable avant l'implementation en question de formuler quelques hypothese sur lesquels est basé le simulation.il s'agit entre autres :

8.1 Hypothèses

8.1.1 HYPOTHÈSE A (nature des foyers de danger)

Ici nous considerons les foyers de dangers comme etant la nature de l'incendies en question suceptible de causé des eventuels damage.

8.1.2 HYPOTHÈSE B (champ de visualisation)

Considérons le champs de la visualisation d'un humain à 360 ,de ce fait nous pouvons émettre l'hypothèse que si un agent perçoit le feu a une distance bien donné ,alors l'agent est censé éviter le feu par divers moyen.

8.2 L'environnement

L'environnement présente dans notre modele est inspiré par les travaux mainé par[Alginahi, Yasser M and Mudassar, Mohammed and Kabir, Muhammad Nomani and Tayan, Omar] [2]. En effet ce environnement nous convient bien en se sens qu'il nous permet de d'étudier le comportement de la foule en periode de crise ainsi que l'évolution de son degré en fonction des différents agents que compose ce modele et ce grâce au différentes configuration que nous avons coté haut.(nombre,la taille,la position du feux etc..).L'evironnement présenté dans ce modèle a une taille de 113 m par 156 m et contient par conséquent plusieurs type d'agents.*feu, personnes, leader, agent lambda ...*

8.3 Extraction des différents agents du système

Ici nous presentons les différents agent qui interviennent dans notre modele ainsi que leur roles respectifs.

8.3.1 agent principale

Se sont les agents les plus important voir indispensables dans le modele de simulation que nous presentons.il s'agit de :

- **Personne(people)** : les personnes qui se trouve dans l'immeuble pendant l'incendie.
- **Alarme** : détecte le feux et les fumées et alerte les personnes.
- **Feux** : déclenche l'incendie, il peut tué les personnes et il crée aussi les fumées.
- **Fumée** : empoisonne les personnes.
- **Panneau** : indique le chemin de sorti aux personnes.
- **leader** : dont les autres agents suivent pour sortir.

- **personnes lambda** : se sont des agents qui sont repérables par soit leurs possibilité de trouver les chemins de sortis d'eux même ou soit au cas ou ils n'arrivent pas a trouver le chemin,suivent les agents **leader** afin de sortir idem du danger.

8.3.2 agent non moins important :

Se sont les agents qui ne sont pas indispensable dans le modele mais dont leur presence apporte une signification toute particulière.

- **SORTIE** :l'endroit vers lesquels les agents emprunte pour évacuer du bâtiment .
- **MURS** : les differents obstacles.

8.4 Diagramme de classe

Ci-dessous nous alors montré le diagramme de classe du système qui permet a cet effet une implementation du modèle sur n'importe quelle plate forme de simulation.

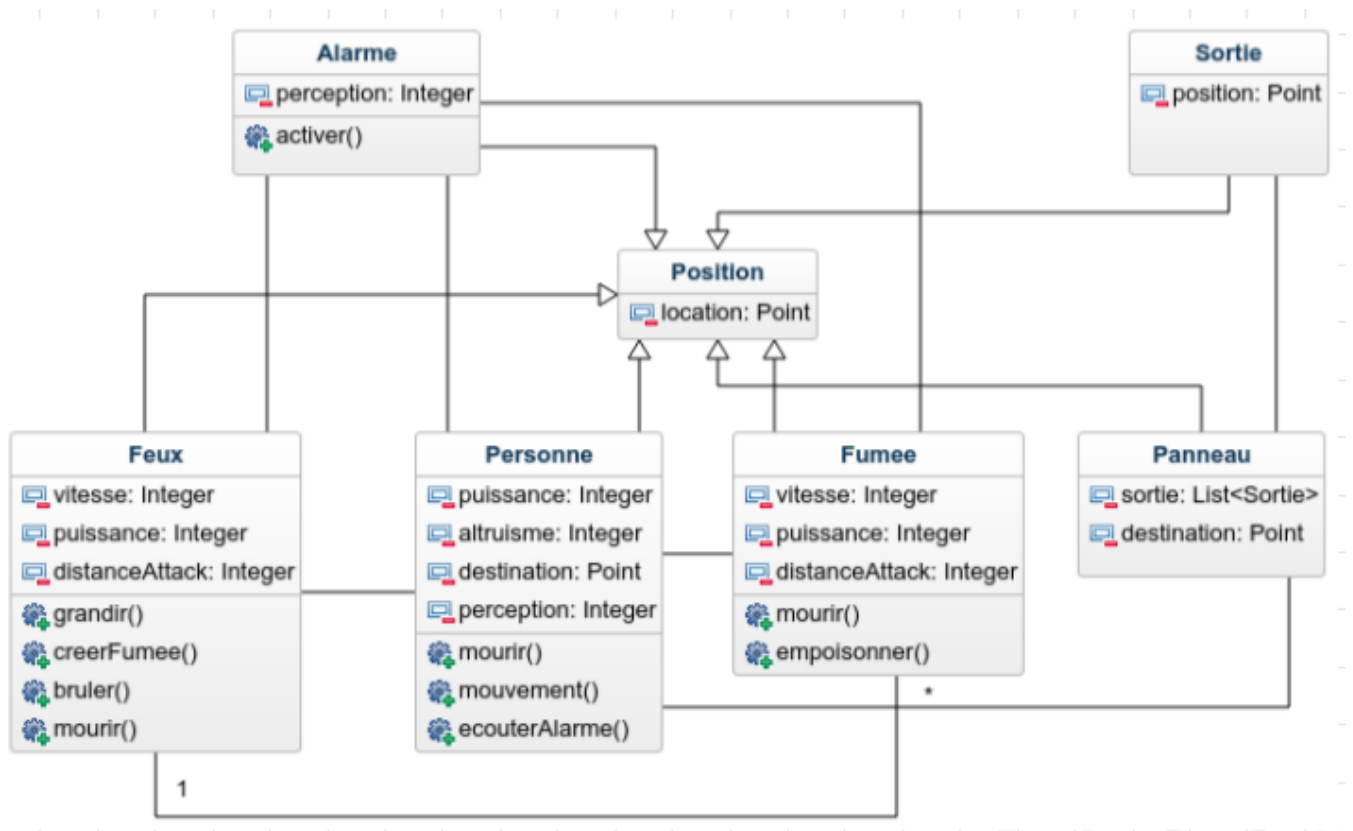


FIGURE 8 – Diagramme de classe

8.5 Diagramme d'activité

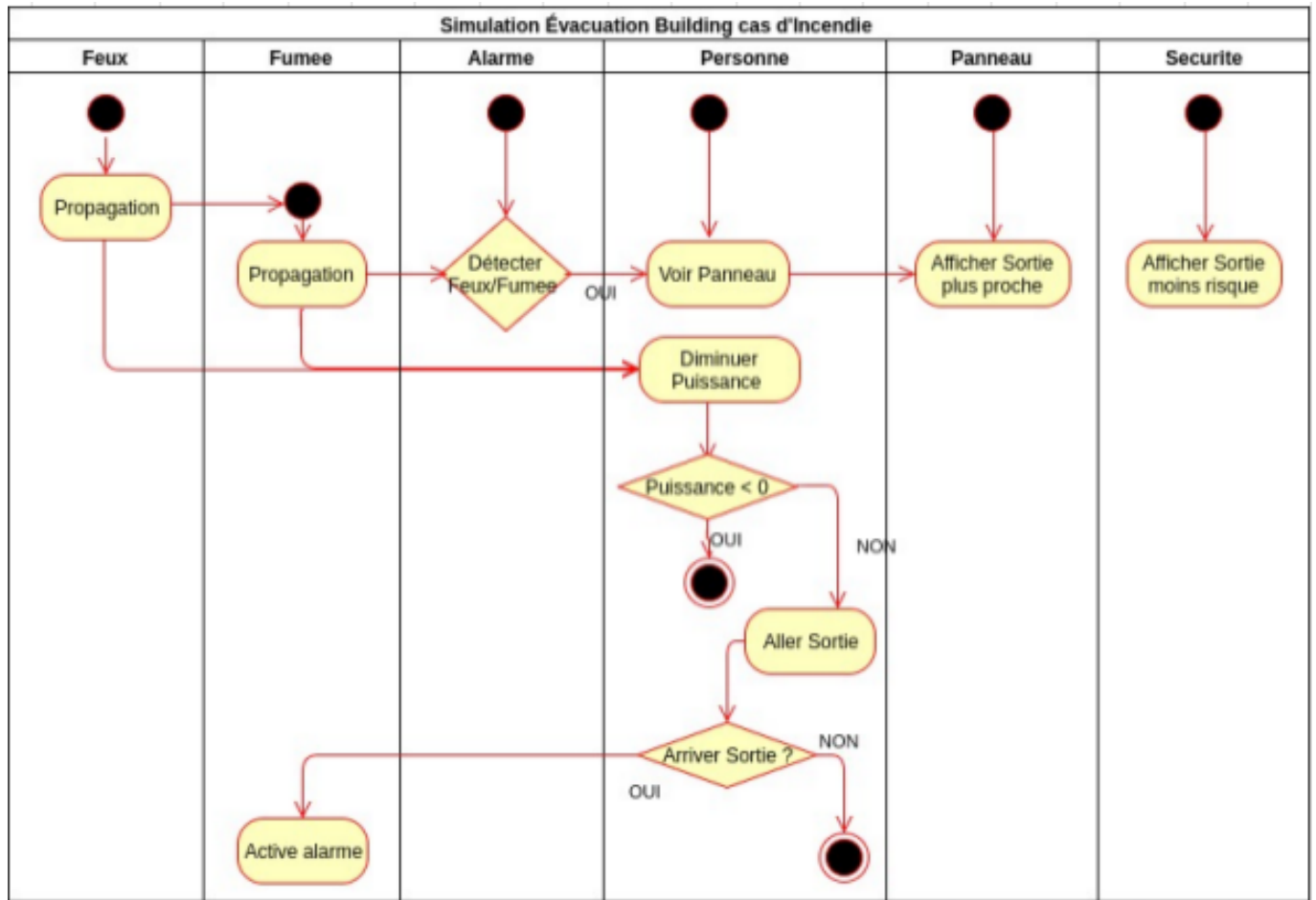


FIGURE 9 – Diagramme d'activité

8.6 Diagramme d'interactions

	personne	feux	fumee	alarme	panneau	lambda
personne	-	-	-	-	-	-
feux	Diminution puissance	Creation de fumee	-	-	-	Diminution puissance
fumee	Diminution puissance	-	-	-	-	Diminution puissance
alarme	évacuation	Activé l'alarme	Activé l'alarme	-	-	évacuation
panneau	Indication de sortie	-	-	-	-	-
lambda	-	-	-	-	-	-

TABLE 5 – Diagramme d'interaction

9 Expérimentation

9.1 Configuration et Description des bâtiments

9.1.1 configuration des bâtiments

Pour définir l'efficacité du modèle proposé, plusieurs configurations des bâtiments ont été implémentées avec bien sûr des mesures proches de la réalité. Nous avons de ce fait construit ces bâtiments avec une légère différence quant à la disposition des sorties. Ces bâtiments ont été réalisés par l'outil **OpenJump** qui donne une configuration réelle.

9.1.2 Description des bâtiments

En ce qui concerne le bâtiment 1, il comporte deux portes de sorties avec comme mesure 20 mètres sur 35 mètres comportant des mini portes de sortie pour venir aux portes principales. Tandis que le bâtiment 2 possède 4 portes de sorties avec aussi les mesures telles que 55 mètres sur 70 mètres. Ci-dessous les images des différents bâtiments :

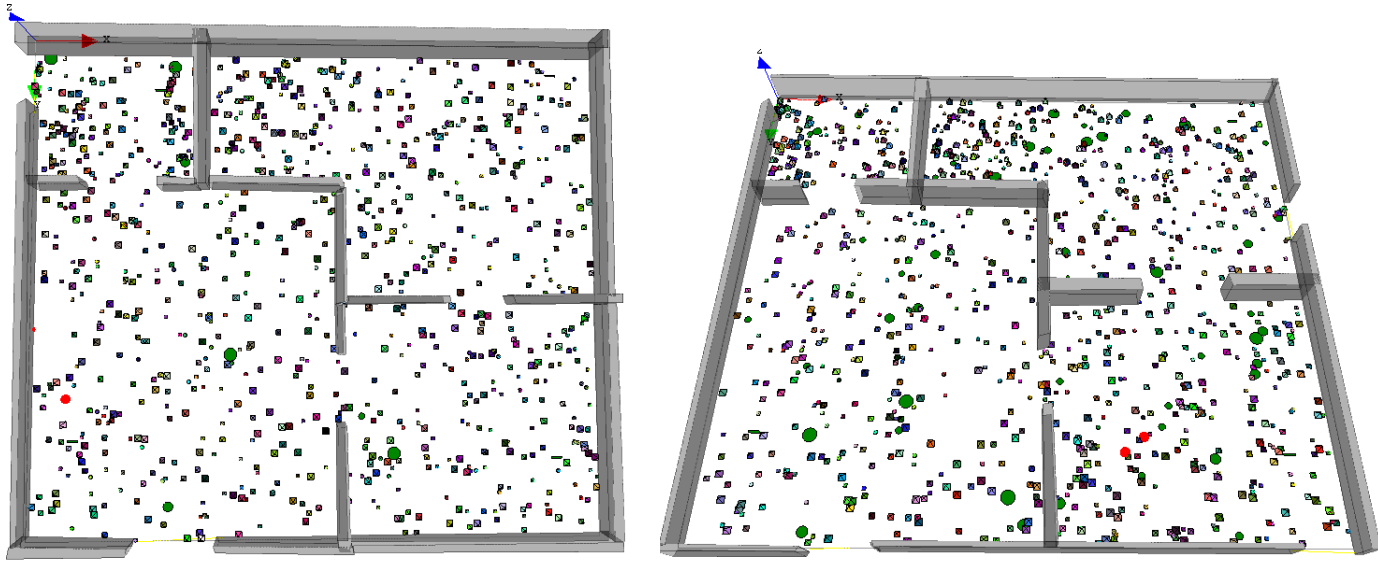


FIGURE 10 – les deux bâtiments avec 1000 agents

9.1.3 Simulation des différents scénarios d'évacuation et Résultats

1. **SCÉNARIOS avec deux portes :** Pendant l'évacuation nous constatons que lors de l'apparition du feu, les habitants du bâtiment se dirigent vers les sorties en vue d'évacuer le bâtiment. après nous constatons qu'il ne reste plus aucune personne visiblement dans le bâtiment sauf l'agent feu et la fumée qui continue à se propager jusqu'à un certain niveau.
1. **RÉSULTATS**

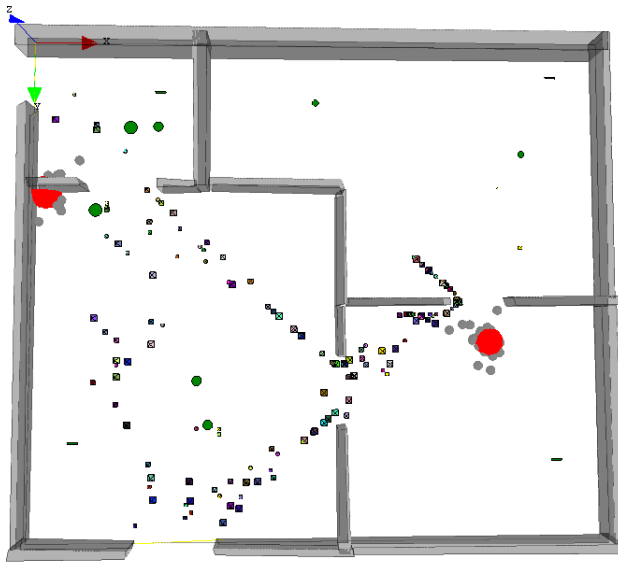


FIGURE 11 – pendant l'avacuation

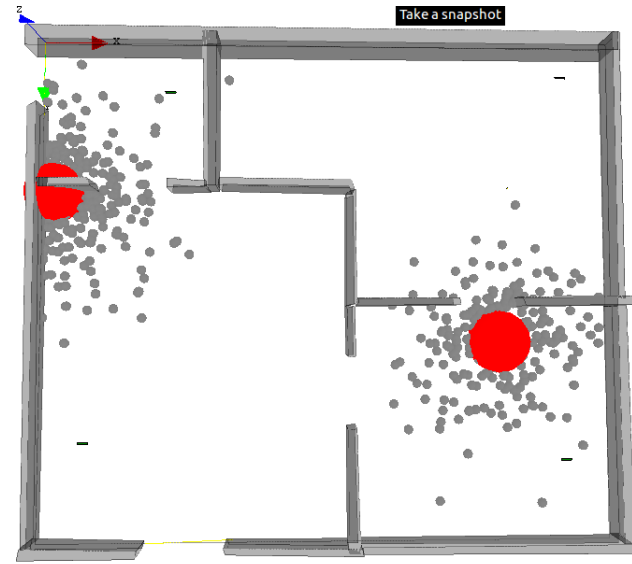


FIGURE 12 – après l'évacuation

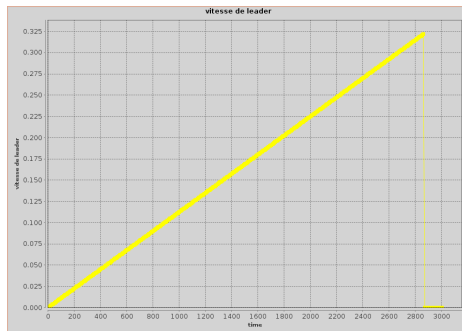


FIGURE 13 – vitesse leader

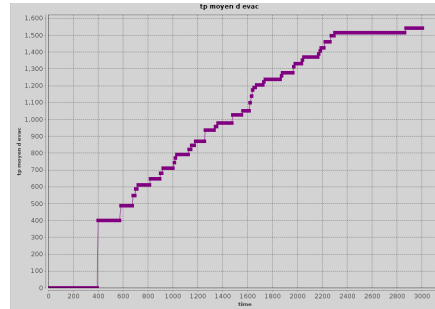
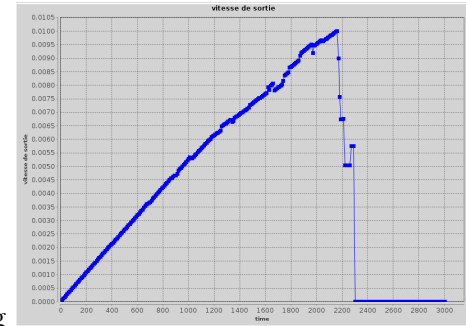
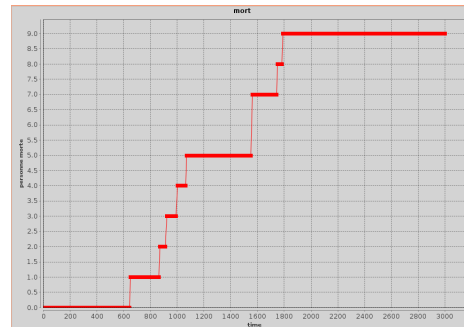
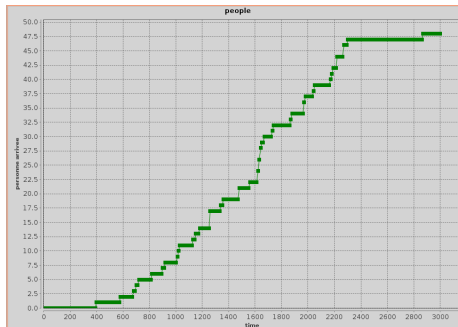


FIGURE 14 – vitesse évacuation



sortie.png

FIGURE 15 – vitesse sortie



Nous constatons de ces résultats qu'avec le modèle de bâtiment avec deux portes de sorties la vitesse d'évacuation des agents leader est constante, et le nombre de personnes atteint par le feu est de 9. Cela s'explique par le comportement des agents face au feu qui au début commence à progresser jusqu'à un niveau maximale avec l'apparition de la fumée qui se progresse à travers le bâtiment et qui peut piéger les agents se trouvant dans le bâtiment.

1. SCÉNARIOS avec quatre portes :

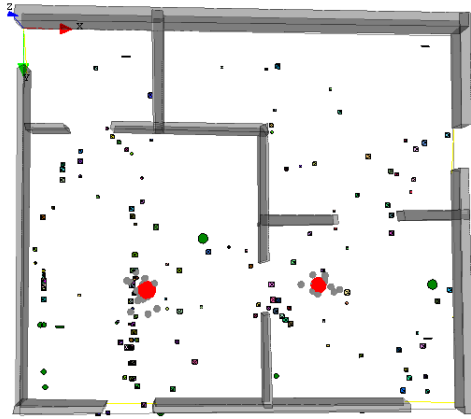


FIGURE 16 – pendant l'évacuation

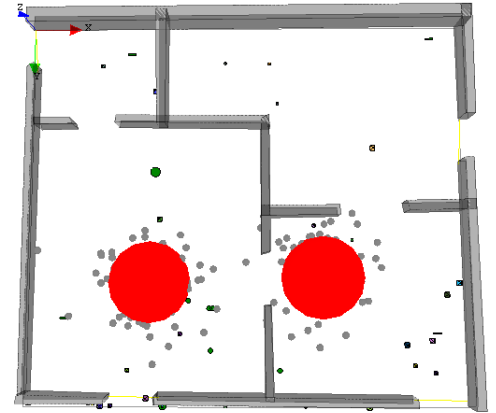


FIGURE 17 – après l'évacuation

2. RÉSULTATS

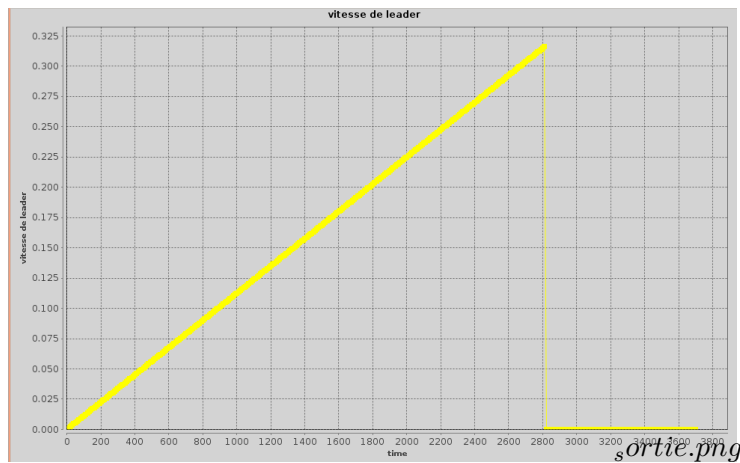


FIGURE 18 – vitesse leader

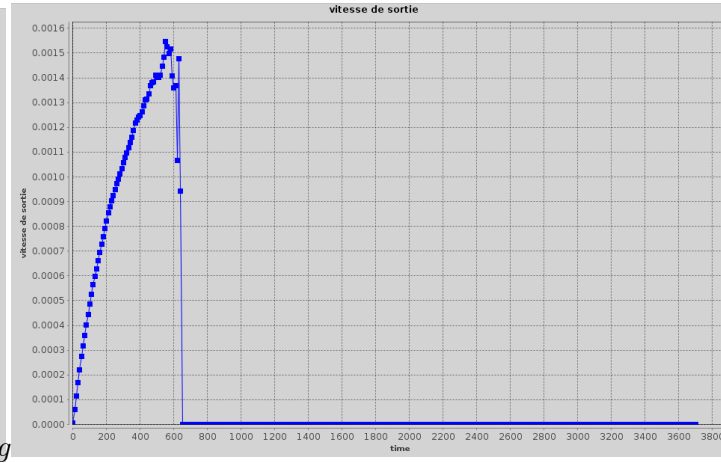


FIGURE 19 – vitesse sortie

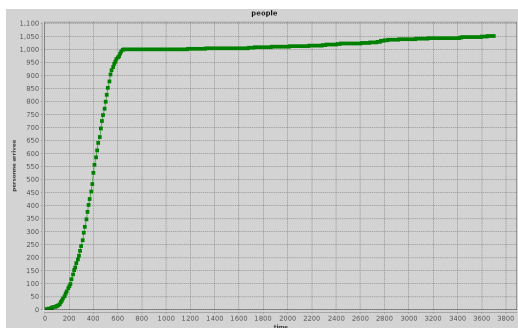


FIGURE 20 – personne arriver

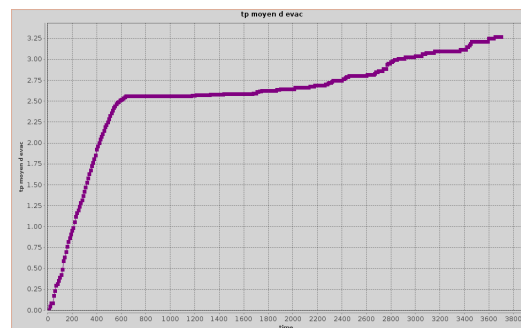


FIGURE 21 – temps moyenne d'évacuation

ANALYSE :Plus le nombre des sorties sont nombreux plus le temps d'évacuation est minimale. Plus le taille de l'agent est considérable,plus la vitesse de déplacement diminue, Le modèle agent leader permet d'avoir plus de survie pendant un évacuation. Plus le niveau de l'altruisme d'une personne est élevé plus l'alarme est activé rapidement et plus le nombre de personne qui réussi l'évacuation est élevé.

10 Conclusion générale

Dans le cadre de notre travail personnel encadré (TPE), nous avons étudié le comportement de la foule en cas de crise à l'aide du système multiagent. Ce travail fait suite au modèle à base d'agent **SEBES** en vue de pouvoir apporter des améliorations conséquentes. Pour ce faire, nous avons subdivisé le travail en deux parties principales à savoir une étude théorique et une implémentation pratique. Dans la partie théorique, nous avons effectué une analyse et une étude bibliographique qui nous ont permis d'avoir une large compréhension de notre sujet. Nous avons ainsi pu étudier quelques travaux en rapport avec notre thème. Enfin, c'est sur la base de cette recherche bibliographique que nous avons proposée. De plus, nous avons élaboré un planning prévisionnel pour entamer la deuxième partie de notre TPE. Il s'agit de la partie pratique où dans un premier temps, nous avons appris le langage gaml avant de passer à l'implémentation. En effet déjà présenté dans la partie solution proposée le modèle panneau ainsi leader permet tous simplement d'indiquer le plus court chemin pour aller à la sortie. En d'autres termes modèle le panneau ne permet pas de mesurer la dangerosité d'un chemin. Par contre, le modèle agent leader qui se base avec le modèle panneau permet de minimiser le danger en ce sens que le leader connaît mieux les différentes voix de sortie les plus sûrs et les plus courts également. Cependant la limite du modèle agent leader est le temps d'exécution largement élevé par rapport l'autre modèle. Ce qui est complément logique étant donné qu'à chaque pas de simulation, le modèle cherche le chemin le plus court possible. Le travail n'est pas parfait, alors nous vous proposons quelques limites et perspectives avec une proposition d'éventuelle solution

10.1 Perspectives

Nous pourrions envisager dans l'amélioration des résultats :

- Implémentation d'un modèle d'immeuble avec plusieurs niveaux ,
- Implementation du modele avec d'autre types agent complementaire tel-que les extincteurs,les pompiers,les policiers etc...

Références

- [1] Haifa Abdelhak. *Modélisation des phénomènes de panique dans le cadre de la gestion de crise*. PhD thesis, Université du Havre, 2013.
- [2] Yasser M Alginahi, Mohammed Mudassar, Muhammad Nomani Kabir, and Omar Tayan. Analyzing the crowd evacuation pattern of a large densely populated building. *Arabian Journal for Science and Engineering*, pages 1–16, 2018.
- [3] Patrick Amar. L’approche cognitivo-comportementale. *Le Coaching Bref pour aller à l’essentiel- : Vers les transformations rapides et durables des acteurs clés de l’entreprise*, page 187, 2012.
- [4] Moufida BENCHABANE. *Une nouvelle approche de modélisation des structures de groupe d’une foule de piétons*. PhD thesis, Université Mohamed Khider Biskra, 2011.
- [5] Francois E Cellier and Jurgen Greifeneder. *Continuous system modeling*. Springer Science & Business Media, 2013.
- [6] Jacques Ferber and Gerhard Weiss. *Multi-agent systems : an introduction to distributed artificial intelligence*, volume 1. Addison-Wesley Reading, 1999.
- [7] MICHAEL M Kostreva, MALGORZATA M Wiecek, and TEODROS Getachew. Optimization models in fire egress analysis for residential buildings. *Fire Safety Science*, 3 :805–814, 1991.
- [8] Manh Hung Nguyen, Tuong Vinh Ho, and Jean-Daniel Zucker. Integration of smoke effect and blind evacuation strategy (sebes) within fire evacuation simulation. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 36 :44–59, 2013.
- [9] Jean-Charles Pomerol. L’apport de herbert simon dans filemanagement et la décision. *Revue d’Intelligence Artificielle*, 16(1) :2, 2002.
- [10] Minesh Poudel. *Aircraft emergency evacuation : analysis, modelling and simulation*. PhD thesis, Toulouse 2, 2008.
- [11] Rajesh Reddy, Markus Höferlin, Michael Dambier, and Daniel Weiskopf. Visual analytics for dynamic evacuation planning. In *International Workshop on Visual Analytics*, pages 13–17, 2012.
- [12] T Shen and S Chien. An evacuation simulation model (esm) for building evaluation. *Graduate School of Fire Science and Administration, Central Police University, Taiwan International Journal on Architectural Science*, 6(1) :15–30, 2005.
- [13] Vanina Macowski Durski Silva. The collaborative maritime transportation’s problem under system dynamics and agent based modelling and simulation approaches. *Revista Tecnologia*, 32(2) :259–272, 2011.
- [14] PA Thompson, J Wu, and EW Marchant. Simulex 3.0 : Modelling evacuation in multi-storey buildings. *Fire Safety Science*, 5 :725–736, 1997.
- [15] Pablo Cristian Tissera, Alicia Marcela Printista, and Marcelo Luis Errecalde. Evacuation simulations using cellular automata. *Journal of Computer Science & Technology*, 7, 2007.

- [16] Keisuke Uno and Kazuo Kashiyaama. Development of simulation system for the disaster evacuation based on multi-agent model using gis. *Tsinghua Science and Technology*, 13(S1) :348–353, 2008.
- [17] Bernard P Zeigler, Herbert Praehofer, and Tag Gon Kim. *Theory of modeling and simulation : integrating discrete event and continuous complex dynamic systems*. Academic press, 2000.