

INSTITUT DE LA FRANCOPHONIE POUR
L'INFORMATIQUE

MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDE

MASTER EN INFORMATIQUE

OPTION : SYSTÈMES INTÉLLIGENTS ET MULTIMÉDIA

**Modélisation et simulation des
comportements de mobilité des
individus suite à un séisme**

Réalisé par :
TRUONG Hong Van

Superviseurs :
Elise BECK
Julie DUGDALE
En collaborant avec :
Carole ADAM

Laboratoire PACTE
Institut de Géographie Alpine
Equipe MAGMA
Laboratoire d'Informatique de Grenoble

10 mars 2014

Remerciements

Je tiens en premier lieu à remercier Elise Beck et Julie Dugdale pour m’avoir proposé ce stage, m’avoir accueilli et intégré à l’équipe MAGMA, LIG et laboratoire PACTE à Grenoble, France. Leurs aides et conseils utiles m’ont aidé à bien mener les objectifs de mon stage. Je souhaite remercier ensuite les enseignants de l’IFI pour leurs conseils et leur encadrement. Merci à Carole Adam pour me donner des commentaires judicieux.

Je voudrais adresser mes sincères remerciements aux membres du projet LIBRIS, des experts qui m’ont fourni les données et des informations nécessaires pour mon stage.

Je souhaite remercier ensuite des concepteurs de GAMA et tout particulièrement Patrick Taillandier pour tous leurs aides, leurs réponses de mes questions concernant GAMA.

Enfin, je tiens à remercier ma famille, mes amis et particulièrement mon mari Pham Van Trung qui m’ont soutenu pendant mon stage.

Résumé

Ce travail est dans le cadre du projet LIBRIS, un projet multidisciplinaire ayant l'objectif de contribuer à l'étude du risque sismique au Liban. Le but de ce stage dans un premier temps est de reproduire des comportements sociaux des individus à Sioufi, un quartier de Beyrouth à partir des données LIBRIS. Dans un second temps, on crée des scénarios de simulation pour voir l'impact de comportements humains différents sur le décès et l'exposition au danger. Les résultats de simulation peuvent servir à construire des campagnes d'information afin d'améliorer les modalités de la gestion de crise au Liban.

Pour ce faire, on utilise l'approche de modélisation et simulation à base d'agents pour développer le modèle appelé AMEL (Agent-based Model for Earthquake evacuation in Lebanon). Ce rapport présente les étapes pour développer ce modèle, précisément la méthodologie, les recherches bibliographiques sur la modélisation et simulation des comportements post-sismiques et les données mises à disposition, la conception du modèle, le développement, l'expérimentation et les résultats obtenus.

Mots-clés : Modélisation, Simulation, Modèle à base d'agents, Système Multi-agents, Evacuation, Séisme

Abstract

This work is in the LIBRIS project, a multidisciplinary project with the aim of contributing to the study of seismic risk in Lebanon. The purpose of this internship as a first step is to reproduce the social behaviors of individuals at Sioufi, a district of Beirut from the LIBRIS database. In a second step, we create some scenarios to see the impact of different human behaviors on number of deaths and exposure to danger. The simulation results can be used to build information campaigns to improve the arrangements for crisis management in Lebanon.

The approach of agent-based modeling and simulation is used to develop the model called AMEL (Agent -based Model for Earthquake evacuation in Lebanon). This report presents the steps to develop this model : the methodology, the bibliographic research and the given data, the conception of the model, the development and the results obtained.

Keywords : Modeling, Simulation, Agent-based model, Multi-agent system, Evacuation, Earthquake

Table des matières

Remerciements	i
Résumé	ii
Abstract	iii
Contents	iv
List of Figures	vii
List of Tables	ix
Abbreviations	x
Introduction	1
1 Contexte	3
2 Etat de l’art	6
2.1 Comportements humains suite à un séisme	6
2.2 Modélisation et simulation à base d’agents des comportements humains .	10
2.2.1 Modélisation et simulation à base d’agents	10
2.2.2 Modélisation et simulation des agents de secours	11
2.2.3 Modélisation et simulation des agents d’évacuation	13
2.2.4 Modélisation et simulation des agents d’évacuation et des agents de secours	14
3 Méthodologie	17
4 Données mises à disposition	19
4.1 Données sociales	19
4.2 Données spatiales	20
4.3 Autres données	21
5 Conception du modèle	22
5.1 L’objectif du modèle	22
5.2 Comparaisons entre des autres travaux existants et le nôtre	23
5.3 Agents et leurs attributs	23
5.3.1 Agent Human	25
5.3.2 Agent Obstacle	25

5.3.3	Autres Agents	26
5.4	Comportements des agents	27
5.4.1	Comportements de l'agent Human	27
5.4.1.1	Comportement de mouvement	28
5.4.1.2	Comportement de perception des obstacles	28
5.4.1.3	Comportement d'imitation	31
5.4.2	Comportements de l'agent Obstacle	32
5.5	Paramètres d'entrées	32
6	Développement du modèle	34
6.1	Plate-forme de simulation à base d'agents utilisé	34
6.2	Éléments principaux dans GAMA	35
6.3	Structure du programme	36
6.3.1	Global	37
6.3.2	Entities	37
6.3.3	Environment	39
6.3.4	Experiment	39
6.4	Captures d'écrans de simulation	40
6.4.1	Main_display	40
6.4.2	Behaviour_Chart	41
6.4.3	Victime_Exposed_Charts	42
6.4.4	Exposition_Time_Chart	42
7	Expérimentation	44
7.1	Scénarios	44
7.2	Analyse de sensibilité	46
7.2.1	Sans changement de distribution initiale des agents	46
7.2.2	Avec changement de distribution initiale des agents	48
7.3	Résultats d'expérimentation	51
7.3.1	Scénario 0 – Reproduction de l'enquête	51
7.3.2	Scénario 1 - Situation pessimiste / jour	52
7.3.3	Scénario 2 - Situation pessimiste / nuit	53
7.3.4	Scénario 3 - Situation insuffisant/jour	55
7.3.5	Scénario 4 - Situation insuffisant/nuit	56
7.3.6	Scénario 5 - Situation optimiste 1	57
7.3.7	Scénario 6 - Situation optimiste 2	58
7.3.8	Scénario 7 - Situation optimiste 3	58
7.3.9	Scénario 8 - Situation optimiste 4	60
7.4	Analyse des résultats	60
8	Validation	65
	Conclusions et perspectives	67
8.1	Résumé	67
8.2	Difficultés rencontrées	68
8.3	Perspectives	68

A	Questionnaire de l'enquête	70
----------	-----------------------------------	-----------

Bibliographie	81
----------------------	-----------

Table des figures

2.1	Localisation de répondants avec le temps [6]	9
3.1	Méthodologie appliquée pour AMEL	17
4.1	Représentation des rues (en violet), des bâtiments (en jaune) et espace vert (en vert) du quartier Sioufi par des données spatiales	21
5.1	Illustration de la forme et du rayon d'obstacle	26
5.2	Processus du comportement de mouvement	29
5.3	Configurations des rues bloquées	30
5.4	Agent se déplace vers le point d'intersection	30
5.5	Processus de perception de grands obstacles	31
5.6	Processus d'imitation	31
5.7	Processus de réglage de la vitesse	32
6.1	Structure du modèle de GAMA	35
6.2	Déclaration de species	36
6.3	Structure du projet AMEL	37
6.4	Liste des species.	38
6.5	Conception du modèle amel.	38
6.6	Capture d'écran de simulation.	41
6.7	Behaviors Chart.	41
6.8	Victime_ Exposed_ Charts.	42
6.9	Exposition_Time_Chart : l'axe vertical : périodes de temps (minutes), l'axe horizontal : le nombre de personnes exposées.	43
7.1	Scénarios et des paramètres d'entrée	44
7.2	Diagramme des sorties selon la variation du paramètre "Probabilité de suiveur"	47
7.3	Diagramme des sorties selon la variation du paramètre "Probabilité de se déplacer et ne pas changer d'activité"	47
7.4	Diagramme des sorties selon la variation du paramètre "Probabilité de gens dans les bâtiments"	48
7.5	Diagramme des sorties selon la variation du paramètre "Probabilité de gens dans les rues"	49
7.6	Diagramme des sorties selon la variation du nombre d'agents"	49
7.7	Diagramme des sorties selon la variation du paramètre "Probabilité de se déplacer et ne pas changer d'activité"	50

7.8	Diagramme des sorties selon la variation du paramètre "Probabilité de suiveur"	50
7.9	Camembert des résultats moyens du scénario 0 – Victim_Exposed_Chart .	52
7.10	Camembert des résultats moyens du scénario 1 – Victim_Exposed_Chart .	53
7.11	Camembert des résultats moyens du scénario 1 – Leader_Follower_Chart .	53
7.12	Camembert des résultats moyens du scénario 2 – Victim_Exposed_Chart .	53
7.13	Camembert des résultats moyens du scénario 2 – Leader_Follower_Chart .	54
7.14	Camembert des résultats moyens du scénario 3 – Victim_Exposed_Chart .	55
7.15	Camembert des résultats moyens du scénario 3 – Leader_Follower_Chart .	56
7.16	Camembert des résultats moyens du scénario 4 – Victim_Exposed_Chart .	57
7.17	Camembert des résultats moyens du scénario 4 – Leader_Follower_Chart .	57
7.18	Camembert des résultats moyens du scénario 5 – Victim_Exposed_Chart .	58
7.19	Camembert des résultats moyens du scénario 6 – Victim_Exposed_Chart .	59
7.20	Camembert des résultats moyens du scénario 7 – Victim_Exposed_Chart .	60
7.21	Camembert des résultats moyens du scénario 8 – Victim_Exposed_Chart .	61
7.22	Victime_Exposed_Chart du scénario 0	62
7.23	Exposition_Time_Chart du scénario 0	62
7.24	Exposition_Time_Chart du scénario 2	62
7.25	Victim_Exposed_Chart du scénario 1 (à gauche) et scénario 3 (à droite) .	63
7.26	Exposition_Time_Chart du scénario 3	63
7.27	Victim_Exposed_Chart du scénario 5	64
7.28	Exposition_Time_Chart du scénario 5	64

Liste des tableaux

5.1	Agents et leurs attributs	24
5.2	Liste des paramètres d'entrées	33
7.1	Paramètres et l'amplitude	46
7.2	Tableau des résultats du scénario 0 (5 simulations)	51
7.3	Tableau des résultats moyens du scénario 0	51
7.4	Tableau des résultats du scénario 1 (5 simulations)	52
7.5	Tableau des résultats moyens du scénario 1	52
7.6	Tableau des résultats du scénario 2 (5 simulations)	54
7.7	Tableau des résultats moyens du scénario 2	54
7.8	Tableau des résultats du scénario 3 (5 simulations)	55
7.9	Tableau des résultats moyens du scénario 3	55
7.10	Tableau des résultats du scénario 4 (5 simulations)	56
7.11	Tableau des résultats moyens du scénario 4	56
7.12	Tableau des résultats du scénario 5 (5 simulations)	57
7.13	Tableau des résultats moyens du scénario 5	58
7.14	Tableau des résultats du scénario 6 (5 simulations)	58
7.15	Tableau des résultats moyens du scénario 6	59
7.16	Tableau des résultats du scénario 7 (5 simulations)	59
7.17	Tableau des résultats moyens du scénario 7	59
7.18	Tableau des résultats du scénario 8 (5 simulations)	60
7.19	Tableau des résultats moyens du scénario 8	60
7.20	Tableau des résultats moyens des scénarios	61

Abbreviations

AMEL	A gent-based M odel for E arthquake in L ebanon
GAMA	G is and A gent-based M odelling A rchitecture
GIS	G eographic et I nformation S ystem
LIG	L aboratoire d' I nformatique de G renoble
MSBA	M odélisation et S imulation à B ase d' A gents

Introduction

Chaque année, des catastrophes naturelles, surtout des tremblements de terre causent de nombreuses victimes. Le décès et l'exposition sont fortement liés à la résistance des bâtiments et les comportements individuels. Lors d'un séisme, les individus peuvent agir de manières différentes. Ils peuvent aller vers lieux sûrs pour protéger eux-mêmes, mais beaucoup de gens n'y vont pas. Pour ceux qui travaillent, ils continuent à faire leurs activités (aller au bureau ou travailler), pour ceux qui ne travaillent pas, ils ne restent que sur place. Les gens qui sont proches aux bâtiments endommagés ont un risque élevé d'être blessé par des débris tombés. Donc une bonne campagne d'information est nécessaire pour informer et guider les gens où ils peuvent aller et ce qu'ils peuvent faire juste après un séisme. Pourtant, la rareté des forts tremblements de terre et l'impossibilité de les prévenir nous empêchent de construire des guides convenables pour les cas de forts et moyens tremblements de terre.

De plus, une approche informatique de plus en plus connue aujourd'hui est la modélisation et simulation à base d'agents. Cette approche nous donne des avantages pour des systèmes humains [1] tels que la capture des phénomènes émergents, la description naturelle des systèmes et la flexibilité. Grâce à ces avantages, elle est convenable pour comprendre, modéliser et simuler des comportements sociaux. Plusieurs simulateurs sociaux à base d'agents ont été développés pour comprendre des comportements humains et prévoir la situation juste après une catastrophe (voir le chapitre 2).

C'est la raison pour laquelle on combine l'analyse des comportements post-sismique des individus et la simulation sociale à base d'agents pour développer le modèle AMEL (Agent-based Model for Earthquake evacuation in Lebanon). Ce modèle nous aide à travailler sur un environnement virtuel dans lequel chaque individu est un agent qui a des comportements différents avec les autres. Basé sur des simulations avec la variation

dans les comportements des individus, on peut donc évaluer l'effet des campagnes d'information et peut-être aider à concevoir des meilleures campagnes qui recommandent plus de comportements appropriés.

Mon stage s'est déroulé au laboratoire PACTE, Institut de Géographie Alpine, Grenoble ainsi qu'à l'équipe MAGMA du laboratoire LIG, Grenoble. Mon travail est dans le cadre du projet LIBRIS financé par l'Agence Nationale de la Recherche (ANR). C'est un projet interdisciplinaire qui concerne de plusieurs domaines tels que l'évaluation du risque sismique au Liban, les vulnérabilités sociales, la perception du risque et la gestion de la crise. . . Le but de mon stage est de développer le modèle pour simuler des comportements de mobilité des individus suite à un séisme au Liban. L'objectif est de reproduire des comportements sociaux des individus à Sioufi, un quartier de Beyrouth à partir des données LIBRIS, puis simuler des situations différentes selon la variation des comportements.

La première partie présentera le contexte et des questions posées. En parties suivantes, nous verrons en détail l'Etat de l'art, puis la Méthodologie pour réaliser ce travail, Données mises à disposition, Conception du modèle, Développement du modèle, Validation et Expérimentations ainsi que l'analyse des résultats. Enfin, nous évoquerons les perspectives envisagées pour améliorer le modèle et les enseignements tirés de ce stage de recherche en conclusion de ce rapport.

Chapitre 1

Contexte

Ce chapitre représente une vue globale sur le projet LIBRIS ainsi que des travaux réalisés par des spécialistes dans la ville de Beyrouth (Liban) sur lesquels je travaille dans mon stage.

LIBRIS est un projet multidisciplinaire entre la France et le Liban, dont le but de travailler est des différents aspects du risque sismique : aléa (physique des séismes, tomographie crustale...) et vulnérabilités (perception du risque par la population, politique publique, gestion de crise, urbanisme, reconstruction...).

Liban est un pays du Moyen Orient qui a une histoire géologique riche et complexe. La sismicité du Liban est marquée par des secousses régulières. De plus, la population croît rapidement dans des grandes villes telles que Beyrouthe (plus de 2,5 millions d'habitants). En outre, le paysage urbain est composé d'un tissu ancien, d'immeubles des années 1960-1990, de ruines de la guerre civile 1975-1990, de reconstructions planifiées. L'absence des règles parasismiques, le manque systématique de contrôle, les dommages causés par des guerres et des conflits, les modifications structurelles des bâtiments... ont augmenté la vulnérabilité humaine aux séismes.

Dans le cadre du projet LIBRIS, Elise Beck et al. ont fait des recherches sur des comportements de mobilité post-sismiques au Liban [2]. Les auteurs ont interrogé 88 Beyrouthins sur la manière dont ils se représentent le risque sismique, leur connaissance de celui-ci et leurs comportements post-sismiques, particulièrement la manière dont ils se déplacent et dont ils peuvent éventuellement se mettre en situation d'exposition ou de

protection. Une partie de ce questionnaire (voir annexe pour avoir plus d'information sur ces questions) a utilisé comme des données dans mon stage.

Concernant la perception et connaissance du risque sismique à Beyrouth, les résultats préliminaires de l'enquête montre que plus de moitié des interrogés (66%) *“jugent qu'un séisme majeur peut se produire à Beyrouth”*. Pourtant, *“si la plupart des enquêtés attribuent aux tremblements terre une origine tectonique (74%, contre 14% pour une origine “directement” divine), ils n'excluent pas une relation entre les deux, suggérant que le déclenchement d'un séisme, bien que lié au mouvement des plaques, sera dû à une intention divine”*.

Concernant des comportements de mobilité post-sismiques, ce sont des comportements plutôt passifs. En effet, en ce qui concerne les réactions adoptées pendant la secousse, *“37% des enquêtés ayant vécu un séisme n'ont pas adopté de comportement particulier, 16% sont restés figés, 16% ont tenté de sortir et 3% sont mis à prier”*. Pour les réactions adoptées après la secousse, *“on trouve la même tendance : 78% des enquêtés n'ont pas cherché à rejoindre un lieu en particulier, autrement dit, n'ont pas adopté de comportement de mobilité spécifique, sans doute en raison de la faible intensité (réelle et non perçue) de l'événement. Par ailleurs, parmi les personnes ayant décidé de quitter leur domicile (soit 14 individus), la moitié continuent à aller à leur destination initialement prévue avant le séisme (travail, école...). Lorsqu'une secousse a été perçue comme forte à très forte, la propension à sortir a été plus élevée, alors que lorsque la secousse a été ressentie comme faible à modérée, les individus n'ont pas adopté ce comportement.”*

Des comportements passifs des individus comme dans l'enquête peuvent augmenter le nombre de victimes après le séisme. Adopter des comportements d'évacuation tels qu'aller vers un abri, un espace ouvert... peut sauver beaucoup de vies. Donc, les questions posées sont : quels sont les dommages humains (le nombre de morts et d'exposés au danger) si les gens agissent de manières différentes (adoptent des comportements plutôt passifs ou actifs)? Quels sont les comportements de mobilité que les gens devraient adopter? Autrement dit, où les individus pourraient évacuer lors du séisme?

Pour répondre à ces questions, on crée le modèle AMEL afin de simuler des comportements de mobilité des individus. Grâce aux informations extraites de l'enquête, précisément le pourcentage de comportements, on simule la mobilité des gens avec ce pourcentage de comportements et présente l'impact sur le décès et l'exposition pour la

situation de l'enquête. Ensuite, on crée des autres situations fictives (voir le chapitre 7) avec des pourcentages de comportements différents pour voir l'impact du changement de comportements sur le nombre de morts et d'exposés. A partir des résultats de simulation, on donne de bons comportements d'évacuation pour les individus.

Chapitre 2

Etat de l'art

Ce chapitre présente des travaux antérieurs sur des comportements humains en cas de crise sismique, ainsi que des recherches sur la modélisation et simulation à base d'agents sur le même domaine.

2.1 Comportements humains suite à un séisme

Chaque année, des séismes causent nombreuses de victimes. Il y a plusieurs recherches sur les comportements humains juste après le séisme. D'après Solberg et al. [3], ajustements sismiques sont tous les types d'actions et de comportements pris par les individus et les ménages qui ont la capacité de réduire le risque des dommages et des pertes lors d'un tremblement de terre, ou pour préparer les conditions post-sismiques qui pourraient affecter les probabilités de survie après le séisme. Exemples d'actions qui réduisent les risques comprennent la modernisation et la sécurisation des contenus de maisons (étagères, piliers...), et des exemples de préparations post-sismiques sont la sécurisation de la provision d'alimentation, d'eau et de la médecine, l'achat d'assurance et la planification pour réunions de membres de familles. Dans mon travail, je me concentre aux comportements juste après une secousse (par exemple dans 2 heures après secousse) qui réduisent le risque des dommages et des pertes humains, par exemple s'éloigner des bâtiments endommagés lors d'un séisme. Aussi d'après Solberg et al., la plupart des gens ne font rien ou très peu pour s'ajuster aux risques sismiques. S'ils agissent, ils se

concentrent plus à préparer des conditions post-sismiques que de réduire les risques pendant le séisme. Les sections suivantes présentent des résultats de recherche réalisés dans plusieurs pays concernant des comportements humains post-sismiques.

Paul-Annick Davoine et al. [4] dans leur article en 2012 qui est lié à la géovisualisation pour la réduction de la vulnérabilité socio-spatiale en milieu urbain ont présenté des résultats de l'enquête concernant la vulnérabilité sociale des Grenoblois enquêtés (France). Ces résultats montrent la perception des Grenoblois, leurs connaissances et leurs comportements du risque sismique. Précisément, *“les Grenoblois se sentent moyennement exposés aux risques sismiques”*. *“Plus de moitié des Grenoblois ont une connaissance adaptée des consignes à suivre pendant et après une secousse”*, mais *“peu de personnes déclarent avoir reçu une information sur le phénomène sismique à Grenoble”*. La connaissance du risque et des consignes adoptées est différente selon âge, profession et surtout le niveau de diplôme. *“Les jeunes (moins de 24 ans) ont une connaissance plus fine du risque sismique et des consignes à adopter ... Les Grenoblois en situation d'inactivité (retraités, personnes au foyer, chômeurs) ont une connaissance très incomplète des consignes de sécurité... Le niveau de connaissance sur les séismes et sur les comportements est directement corrélé au niveau de diplôme”*, celui qui *“constitue l'un des déterminants de la vulnérabilité sociale aux séismes”*. De plus, *“contrairement aux préconisations établies, la majorité des adultes qui ont la charge d'enfants déclare vouloir les rejoindre à l'école ou prendre de leurs nouvelles en cas de séisme”*.

Dans l'article “Human behavior during and immediately after the earthquake” [5], Linda B. Bourque et al. ont présenté leurs résultats des recherches sur les comportements humains pendant et après le séisme de Loma Prieta (Californie, aux Etats Unis) en 1989 qui a atteint une magnitude de 6,9. Une enquête a été réalisée au lieu du séisme. Les comportements rapportés sont “ne pas pouvoir se déplacer”, “geler sur place”, “ne pas bouger puis chercher des protections”, “chercher des protections”, “courir en dehors”, “rejoindre aux enfants”, “s'arrêter la voiture à bord de route”, “continuer à conduire” et “autres comportements”. Le comportement principal au moment du séisme était de geler sur place ou de chercher des protections (72 pour cent), mais les réponses étaient modifiées par localisations des enquêtés (chez eux, au travail ou à l'école, en transit et dans les lieux publics) et les personnes les accompagnants, notamment des enfants. En effet, personnes qui étaient au travail ou à l'école ont le plus souvent cherché des protections, tandis que ceux qui étaient chez eux étaient plus susceptibles de rejoindre

aux enfants. En général, les femmes étaient plus susceptibles que les hommes de rester sur place (33,4 pour cent contre 24,8 pour cent) ou de rejoindre aux enfants (9,6 pour cent contre 4,3 pour cent). Les personnes âgées (plus de 41 ans) étaient également plus susceptibles de geler sur place (34,6 pour cent contre 24,6 pour cent). Un autre comportement remarquable est de courir en dehors. Courir en dehors des lieux publics a été plus fréquemment rapporté (dans deux sur trois zones enquêtées : San Francisco - 46.3% et Santa Cruz - 23.6%).

Matteo Gismondi et Otto Huisman ont publié en 2012 [6] les résultats de travaux sur les méthodes de géovisualisation en utilisant Space-Time-Cube pour examiner des mouvements différents pour l'évacuation avec des périodes de temps post-sismiques. Ils ont utilisé les données du séisme de Chuetsu (Kawaguchi commune, Niigata, Japon) en 2004 qui a atteint une magnitude de 6,8. Grâce aux travaux des auteurs, on peut voir plus clairement le changement de mouvement des individus avec le temps dans trois régions de la commune : région centrale, région périphérique et région isolée (Figure 2.1). Ce qu'on s'intéresse ici est des mouvements des individus dans les premières 24 heures après le tremblement de terre. Dans la région centrale, la population est divisée géographiquement : un groupe qui vivent à proximité du bureau de l'administration locale et un autre groupe qui vivent en marge de la région centrale. Personnes dans le premier groupe ont tendu à se déplacer vers le bâtiment gouvernemental local en même temps, tandis que ceux dans le deuxième groupe ont évacué en même temps, mais regroupé en des petits groupes de voisins. D'après les auteurs, l'absence de stratégies d'évacuation pré-disposées explique le mouvement vers le bâtiment gouvernemental local. Le regroupement des gens qui vivent loin indique la volonté de collocation le plus proche possible de leurs propres maisons. Dans la région périphérique, les ménages sont physiquement dispersés, donc il n'y avait pas de grand mouvement dans l'espace. Après le tremblement de terre, la plupart des résidents (près de 60%) ont tendance à rester près de leurs maisons (figure 2.1). Dans la région isolée, immédiatement après le tremblement de terre, des résidents étaient proches à leurs propriétés sans grand mouvement. Pourtant, deux heures après le tremblement de terre, une collocation apparaît clairement, des résidents ont regroupé à une école locale utilisée comme abri, cela montre une bonne préparation pour le séisme. Donc, d'après cet article, on peut trouver que la distribution de la population peut influencer l'évacuation de la population, et avec une bonne préparation, on peut diminuer le taux de dommage.

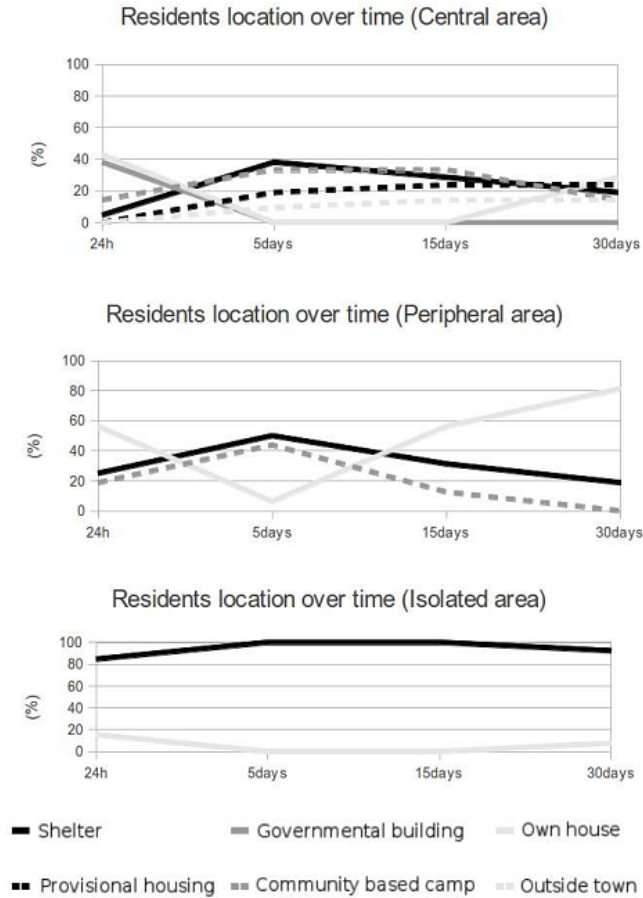


FIGURE 2.1: Localisation de répondants avec le temps [6]

En résumé, la mise en évidence des articles ci-dessus ne sert pas à synthétiser pour trouver des comportements post-sismiques typiques pour tous les régions et toutes les périodes de temps, elle est seulement pour donner une vue sur ceux que les gens font dans la réalité, bien que l'on puisse trouver un comportement similaire dans les exemples : “geler sur place” [5], rester à la maison [6] ou comme Solberg et al. [3] indiquent : ne rien faire ou très peu pour s’ajuster aux risques sismiques. En effet, des comportements post-sismiques se forment à base de plusieurs éléments tels que le niveau de diplôme [4], le sexe (homme/femme), l’âge, la localisation et les compagnons des individus au moment de séisme [5], la distribution de la population au moment de séisme [6]... Donc les gens réagissent différemment lorsqu’ils sont en face au séisme. S’ils ont des ajustements sismiques convenables, ils pourraient être survécus et moins exposés au danger. Donc, on peut constater l’importance de l’augmentation des connaissances de la population sur le séisme aussi que la propagation d’information sur les guides et consignes à adopter.

2.2 Modélisation et simulation à base d'agents des comportements humains

2.2.1 Modélisation et simulation à base d'agents

Des catastrophes naturelles, surtout le séisme, ont provoqué la mort de beaucoup de gens chaque année. Utiliser une approche informatique comme modélisation et simulation à base d'agents (MSBA) nous permet de reconstruire la situation réelle d'une catastrophe, l'analyser et avoir des actions nécessaires (par exemple réaliser des campagnes d'information) pour réduire le taux de décès à l'avenir. En effet, MSBA nous donne des avantages [7]. Premièrement, elle permet de capturer des phénomènes émergents, le résultat des interactions des agents. En fait, l'évacuation est un système complexe qui contient un ensemble d'agents en interaction, qui sont hétérogènes (par exemple ceux qui maîtrisent leur émotion et ceux qui sont paniques), distribués dans l'espace, produisent des comportements prenant en compte leurs mémoires et l'adaptation (par exemple chercher un autre chemin s'il rencontre un grand obstacle qu'il ne peut pas passer). Deuxièmement, elle donne une description naturelle des systèmes. La façon de présentation des agents par leurs caractéristiques (par exemple âge, sexe, profession...), leurs comportements (par exemple se déplacer, rester sur place...) et de l'effet de leurs comportements sur les résultats de simulation (par exemple le nombre de morts) nous permet de comprendre mieux les résultats obtenus. Troisièmement, elle donne la flexibilité à regrouper les agents (par exemple le groupe d'un leader et des suiveurs) ou les diviser en sous-groupes (ou des agents individuels). Donc, si un problème est maintenant particulièrement complexe, grand, ou imprévisible et le système est distribué et ouvert, alors l'utilisation des systèmes multi-agents est un des moyens les plus efficaces pour résoudre le problème [8].

Il y a plusieurs recherches de MSBA sur comportements humains dans lesquels on peut trouver des comportements humains similaires, par exemple se déplacer vers des lieux sûrs. Donc, des comportements humains en cas d'une catastrophe générale sont pris en compte ici. De plus, dans une situation d'urgence, des gens ont tendance à effectuer deux activités principales : le secours et l'évacuation [9]. Au point de vue de comportement humain, on peut diviser des travaux en trois types : des travaux qui se concentrent à modéliser et simuler des comportements de secours pour sauver des habitants, des

travaux qui s'intéressent aux comportements d'évacuation des individus et ceux pour tous les deux comportements.

2.2.2 Modélisation et simulation des agents de secours

Pour le premier genre, des travaux se concentrent à modéliser des agents de secours (ambulances, pompiers...), la coordination entre des équipes différentes ou l'allocation des ressources.

Robocup Rescue Agents Simulation [10] est un projet qui a deux buts principaux. D'une part, il vise à développer des simulateurs qui forment l'infrastructure du système de simulation et créent des situations réelles en cas de catastrophe. D'autre part, il est pour développer des agents intelligents (policiers, ambulances, pompiers) collaborant dans un scénario de secours en cas de catastrophe. Dans ce projet, il y a deux grands concours : concours sur simulation des infrastructures et concours sur simulation des agents de secours. Les concours derniers ont eu lieu à Atlanta (Etats Unis) en 2007.

Thanh-Quang Chu et al. ont publié un article en 2009 [11] dans lequel ils ont proposé un système d'aide à la décision (Decision Support System) pour allocation des ressources (ambulances) pour sauver des victimes. Leur approche est basée sur la conception participative (Participatory design) et l'apprentissage interactif (Interactive learning) pour capturer l'expérience des experts. Les experts donc peuvent intégrer avec le simulateur et enseigner des agents (ambulances) de bons comportements. D'après les auteurs, cette méthode améliore le réalisme de simulation. Pour faire l'expérimentation, les auteurs ont utilisé le simple scénario avec 2 ambulances pour sauver 100 victimes, les données géographiques (GIS) du quartier Ba Dinh (Hanoi, Vietnam) et des paramètres de dommage estimés à partir d'une ressource locale.

Comme Thanh-Quang Chu et al., Kohei Arai et Tran Xuan Sang en 2013 [7] ont proposé un modèle de secours centralisé pour les personnes handicapées. Des activités de secours sont prises par des volontaires, ils reçoivent l'information des victimes à partir d'un centre d'urgence qui permet de mettre à jour des informations des victimes et des volontaires. La méthode de prise de décision en utilisant le mécanisme d'enchère est pour but de trouver quel volontaire peut aider quelle personne handicapée. Elle est basée sur plusieurs critères tels que l'état de santé des victimes, la localisation des victimes et la localisation des

volontaires. Les auteurs ont créé des scénarios fictifs de simulation avec le changement de la complexité du réseau routier, du niveau de panique des volontaires et de la déconnexion entre volontaires et le centre d'urgence. Chaque scénario contient 10 victimes et 10 volontaires.

Un autre exemple est SIMGENIS, un simulateur à base d'agents pour évaluer un plan de secours d'urgence [8]. Victimes et sauveteurs (superviseurs, médecins, infirmiers et pompiers) sont des agents principaux. Des victimes sont modélisées avec l'évolution de leurs états de santé qui est une fonction des propriétés de l'environnement et du traitement médical. Le mouvement des victimes n'est pas modélisé, les auteurs se concentrent aux actions des agents sauveteurs. En fait, le processus de sauvetage traverse des étapes : l'exploration du site – chercher des victimes et identifier des propriétés globaux de l'incident ; le traitement sur place – examiner des victimes et évaluer leurs états de santé ; le transfert de victimes à Advanced Medical Post (AMP) et l'évacuation de victime à l'hôpital. Ces étapes sont réalisées par des agents médecins, infirmiers, pompiers sous la direction des superviseurs. Les auteurs ont appliqué deux types de stratégie de secours : centralisation – un superviseur réalise l'allocation des sauveteurs et distribution – des sous-groupes autonomes de sauveteurs sont créés (un leader dans chaque groupe) en échangeant sauveteurs si nécessaire. Deux types de transfert d'information concernant les états de victimes sont aussi utilisés : en forme de papier et en nouvelle forme électronique. Quatre scénarios sont créés avec des configurations différentes en variant le nombre d'agents (jusqu'à 300 agents) et types de victimes/ sauveteurs. Les résultats de simulation montrent que communication électronique réduit les délais et le nombre de morts, la stratégie centralisée est plus efficace en cas d'avoir plus de victimes que sauveteurs. Bien que les auteurs aient bien précisé le processus de sauvetage ainsi que des types de communication, la simulation est moins réaliste en exprimant l'environnement par des cellules au lieu des données géographiques comme GIS.

On peut trouver que des agents dans ces travaux sont aux niveaux des niveaux différents : individu (un volontaire, un médecin,..) ou véhicule/ groupe (ambulance...). L'allocation des ressources est affectée par nombre de facteurs tels que l'état de santé des victimes, la localisation des victimes, la disponibilité de sauveteurs... Pour diriger le processus de sauvetage, deux types de contrôle sont bien remarqués : centralisation et distribution. La stratégie centralisée est plus rapportée dans ces travaux, mais les auteurs de [8] indiquent qu'elle n'est plus efficace qu'en cas d'avoir plus de victimes que sauveteurs.

2.2.3 Modélisation et simulation des agents d'évacuation

Des travaux se concentrent à modéliser des agents d'évacuation, y compris des comportements des habitants lors d'une catastrophe. Comme vu dans la section précédente, des comportements humains sont très variés. Maintenant, on voit des recherches informatiques sur ce thème. Le comportement largement connu est de se déplacer vers un abri ou des lieux sûrs.

Des genres différents de transport (marcheur, motocycliste, automobile) peuvent être considérés dans quelques travaux ([12], [9]). Le problème d'embouteillage lors d'évacuation s'est aussi intéressé ([13], [14]). Yozo Goto et al. ont publié en 2012 un article concernant la simulation d'évacuation en cas de tsunami [9]. Les auteurs considèrent une famille comme un grain de simulation, les familles sont classifiées en trois groupes : marcheurs normaux, marcheurs lents (familles avec personnes handicapées, personnes âgées et enfants), motocyclistes et automobiles. Pour marcheurs et automobiles, une famille est modélisée par un agent tandis que pour motocyclistes, une famille est décomposée en paires, chaque paire est modélisée par un agent. Chaque agent doit se déplacer vers le bâtiment utilisé comme abri le plus proche. La densité des agents sur les routes est prise en compte, donc l'embouteillage est modélisé. Des cas de simulation ont été créés selon la proportion des groupes ci-dessus. Les résultats montrent que l'évacuation par automobile doit être limitée et il faut construire plus de nouveaux refuges, car des existants sont surchargés.

Il y a des travaux qui s'intéressent à travailler avec le flux d'évacués. Nguyen Thi Ngoc Anh et al. en 2011 [15] ont présenté un modèle hybride macro-micro des flux de marcheurs sur un réseau routier qui est appliqué pour l'évacuation de tsunami à Nha Trang (Vietnam). Ce modèle combine de deux modèles (macro et micro) pour améliorer l'efficacité (vitesse) de simulation avec un grand nombre d'agents (environ cent mille agents). En effet, dans le modèle macro, des marcheurs sont regroupés dans des flux de marcheurs. Le modèle est basé sur des équations des flux, la vitesse de simulation est donc diminuée. Par contre, le modèle micro est un modèle à base d'agents, chaque marcheur est modélisé comme un agent. La qualité de simulation est mieux que le modèle macro, mais avec un grand nombre d'agents, la vitesse de simulation est lente.

Le comportement "imitation", y compris suivre quelqu'un, est bien remarqué. Dans le modèle micro à base d'agents de Nguyen et al., les auteurs ont proposé deux genres

d'agents nommés “fox” (renard) et “sheep” (mouton). Agent “fox” est défini comme un marcheur formé qui a la connaissance complète des routes pour aller efficacement vers un endroit sûr. Agent “sheep” se déplace aléatoirement sur les routes ou suit un agent “fox”. Regardons plus loin sur des travaux de la simulation de foule sur ce comportement. Pelechano et Badler [16] dans leur article concernant la modélisation de foule lors d'évacuation dans un bâtiment ont montré trois genres d'agents. Premièrement, c'est leader formé (par exemple pompiers) qui a une connaissance complète de situation et aide les autres lors d'évacuation. Deuxièmement, les auteurs ont indiqué leader non formé qui peut mieux gérer le stress et aide les autres en cherchant une sortie. Et enfin, c'est suiveur (non leader, non formé) qui peut être panique lors d'une situation d'urgence, incapable de prendre ses propres décisions et suit un leader. Les auteurs montrent que l'évacuation peut être rendue plus efficace par l'apparition de la communication entre des agents grâce au partage de leurs connaissances des routes bloquées. De même, l'évacuation est également plus efficace s'il y a un petit nombre de leaders formés dans la foule.

2.2.4 Modélisation et simulation des agents d'évacuation et des agents de secours

Il y a aussi des travaux qui s'intéressent à l'évacuation et au secours en général, y compris sur les deux côtés : des comportements de secours et d'évacuation.

Premier exemple est STORMI, l'environnement de simulation à base d'agents pour évaluer la réponse des services d'urgence (ambulance, police...) aux majeurs incidents au Royaume-Uni [17]. STORMI se compose de deux parties : Scenario Designer et Simulator. Scenario Designer permet de créer des scénarios fictifs des incidents multi-sites au Royaume-Uni ainsi que des ressources nécessaires. En détail, ce sont des informations pour initialiser un site d'incident (un nom du site, temps d'occurrence et les données géographiques (GIS)...), informations de victimes (la localisation de victime, son état de santé...) et celles de ressources (la localisation des bases de ressources, le nombre de chaque type de ressource, le nombre d'agents de secours à chaque base...). Simulator comprend trois simulateurs qui correspondent aux différents cadres de simulation : Incident Site Simulator (simuler des activités de réponse dans le site à haut niveau de détail), Global Simulator (simuler des activités de réponse en dehors du site comprenant

des bases de ressources) et Control Centre Simulator (simuler des activités de contrôle tel qu'allocation des ressources). Les comportements des agents de secours sont simulés en utilisant automates finis car ils sont convenables pour les comportements bien définis en réalité. Par exemple, les pompiers doivent faire ceux qu'ils sont chargés et agir sans autorisation est interdit. Les victimes sont aussi modélisées, ils ont des attributs tels qu'âge, genre, localisation. Ils sont peut-être tombés sans connaissance, blessés ou indemnes. Des victimes conscientes et non coincées peuvent échapper au danger et appeler les services d'urgence. Ces appels, qui contiennent des informations sur la perception des victimes, sont envoyés au centre de contrôle, qui déploie ensuite des ressources pour sauver les victimes.

STORMI se concentre plus aux services de secours tandis qu'ESCAPES met en valeurs des agents d'évacuation. ESCAPES un système de simulation multi-agents pour la situation d'évacuation à l'aéroport [18]. Il se compose de deux parties : un module de simulation à deux dimensions (ce qui nous s'intéresse) qui permet de faire l'analyse statistique des résultats et l'autre à trois dimensions sert à la formation personnelle de sécurité. Il y a trois types d'agents : voyageurs, agents de la sécurité et familles. Chaque agent possède des comportements tels qu'errer, acheter quelques choses, chercher la sortie, courir vers la sortie la plus proche... De plus, l'émotion "peur" est développée par une valeur de 0 à 2 (0 indique "pas peur"). Elle est le résultat du nombre de facteurs tels que la proximité de danger, la présence des agents de sécurité et le niveau de peur chez les voisins et autres membres de famille. Le haut niveau de peur conduit à la haute vitesse de mouvement pour sortir. Un autre aspect important de ce travail est l'interaction des agents, y compris la diffusion de connaissance (des sorties et de l'événement), la contagion émotionnelle et la comparaison sociale (Social Comparison Theory - SCT). Les auteurs montrent que la diffusion de connaissance est nécessaire, car les agents n'ont pas de connaissance complète de l'événement ou des sorties, et le retard d'évacuation cause plus de morts. La contagion émotionnelle est un phénomène que l'état émotionnel d'une personne est affecté par leurs voisins. La comparaison sociale conduit un agent de comparer ses comportements et ceux des autres et d'imiter les actions des proches (similaire au comportement d'imitation). Un scénario de simulation générique est réalisé avec 100 voyageurs, 10 familles et 10 agents de sécurité.

Pour conclure ce chapitre, des travaux existants sur MSBA des comportements humains

nous donnent des idées pour développer AMEL. Parmi ces trois types de MSBA ci-dessus, on s'intéresse à MSBA des agents d'évacuation. Des individus sont modélisés comme des agents principaux qui se déplacent sur un réseau routier pour échapper à danger, il y a aussi des agents de groupes (familles, leader et des suiveurs). A travers des travaux, l'utilisation des données géographiques GIS est bien apprécié, car elle donne une simulation plus réaliste. Des types de transport, l'embouteillage seront développés lorsque le modèle est plus complexe. En cas d'avoir suffisamment d'information réelle, des émotions des agents tels que la peur, la panique ainsi que la diffusion émotionnelle sont développées. En combinant avec les données mises à disposition (chapitre 4), on peut maintenant concevoir et développer un modèle d'évacuation.

Chapitre 3

Méthodologie

Dans cette partie, on décrit le processus pour modéliser et simuler la situation réelle, autrement dit, créer le modèle et le simulateur répondus au problème abordé. La figure ci-dessous montre la méthodologie utilisée. Il y a cinq phases : Recherche bibliographique et les données mises à disposition, Conception du modèle, Développement, Validation et Simulation. La première phase introduit des travaux antérieurs sur le même domaine et les données LIBRIS utilisées. La deuxième phase, Conception du modèle, montre des agents, leurs attributs ainsi que leurs comportements. La troisième phase, Développement, indique la transition entre le modèle formel créé dans la phase précédente et le code pour simuler en utilisant une plate-forme de simulation. La validation est mise au cœur de la méthodologie pour affiner, corriger le modèle et le simulateur si nécessaire. La dernière phase, Simulation, couvre expérimentations.

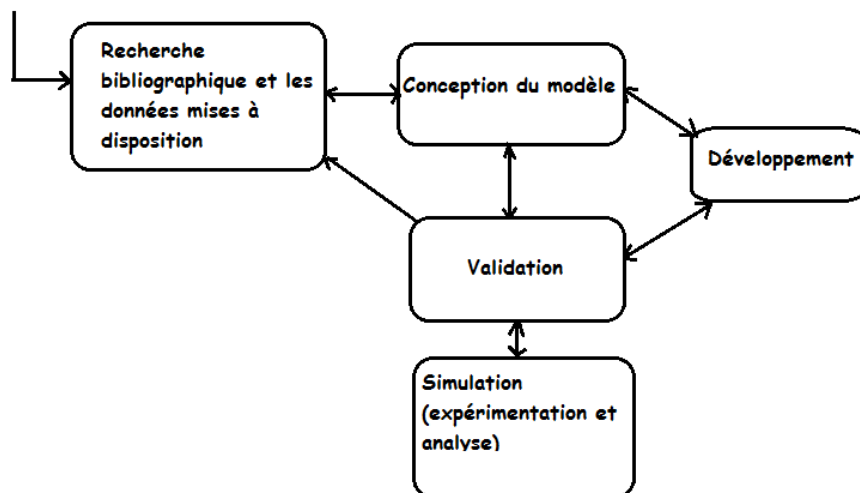


FIGURE 3.1: Méthodologie appliquée pour AMEL.

L'utilisation de cette méthodologie nous donne des avantages [19]. Premièrement, les fleches bidirectionnelles entre des phases, y compris le passage d'une phase à l'autre, nous aident à développer progressivement le modèle et le simulateur, les affiner si nécessaire. C'est également compatible pour analyser des comportements des individus dans la vie réelle, ceux qui sont souvent très complexes et il nous faut les traiter avec l'augmentation de la complexité des comportements. Deuxièmement, elle met la validation au cœur du développement, n'importe quelle fonctionnalité ajoutée dans le modèle ou quel code fini est validé pour que les résultats obtenus soient plus réels possible. On peut donc revenir facilement aux étapes précédentes pour corriger les ajouts incorrects. Troisièmement, la phase de validation est extrêmement itératif pour que des experts (des experts qui ont collectés les données, des spécialistes de modélisation et simulation...) puissent faire partie de notre travail n'importe quel moment de développement du modèle. Leurs commentaires et réponses à nos questions à temps nous aident à affiner le modèle.

Parmi ces phases, la phase de simulation prendre le plus de temps (un tiers ou plus de temps total pour réaliser le modèle) car le temps de simulation dépend de la complexité du modèle ainsi que la puissance du matériel utilisé. Les phases restantes sont également réparties dans le temps.

Dans les parties suivantes, on verra en détail les résultats finals de cinq phases de la méthodologie.

Chapitre 4

Données mises à disposition

Ce chapitre représente des données mises à disposition. Il y a trois genres de données : des données sociales qui concernent des comportements humains post-sismiques et des caractéristiques des enquêtés, des données spatiales qui représentent des bâtiments, des rues, des espaces verts... et des informations concernant la population libanaise.

4.1 Données sociales

Les données sociales sont tirées de l'enquête réalisée au quartier Hôtel-Dieu Sioufi (Sioufi) entre 2010 et 2011 [2]. 88 individus sont interrogés. Le questionnaire comprend 67 questions, portant sur les connaissances de l'enquêté sur le phénomène sismique, son expérience de secousses sismiques et de bombardements, les comportements de mobilité, sa perception du risque sismique à Beyrouth et les actions à mener pour réduire le risque de tremblement de terre. Quelques exemples des questions sont (voir annexe A pour toutes les questions) :

- Que faut-il faire pour se protéger au moment un séisme arrive ?
- Avez-vous déjà ressenti un tremblement de terre ?
- Au moment du séisme, où vous trouviez-vous ?
- Que faisiez-vous à ce moment-là ?

Après avoir analysé des réponses du questionnaire, on peut synthétiser cinq comportements humains :

1. Se déplacer sans changer d'activité (pour ceux qui travaillent). (C1)
2. Rester sur place parce qu'ils ne changent pas d'activité (pour ceux qui ne travaillent pas). (C2)
3. Changer d'activité et aller se mettre en lieux sûrs. (C3)
4. Changer d'activité et aller dans un autre lieu qui n'est pas sûr (ou on ne sait pas). (C4)
5. Changer de planning et rester sur place (annuler plan). (C5)

Selon les résultats de l'enquête, les pourcentages pour les comportements de C1 à C5 sont successivement 12% pour C1, 57% pour C2, 2% pour C3, 9% pour C4 et 20% pour C5.

A côté de ces comportements, on ajoute un comportement qui est reporté dans des évacuations d'urgence similaires [15] [16], imiter les autres (leader-suiveur). Ce comportement nous permet de voir la relation entre le nombre de survies et le nombre de personnes qui savent ceux qu'il faut faire pendant et après une secousse. Le leader est une personne non formée qui peut mieux gérer le stress et aide les autres (suiveurs).

De plus, on obtient aussi des statistiques sur l'âge, la profession, la religion, le genre, le niveau d'étude des personnes enquêtées. Par exemple, la plupart des gens dans ce quartier sont chrétiens (93%); il existe une sur-représentation des 60-70 ans (21%) et des femmes (53%); les personnes sans profession sont majoritaires (35%) et les diplômés du supérieur (post-baccalauréat) sur-représentés (43%).

4.2 Données spatiales

A côté des données sociales, on a des données GIS (Geographic Information System) qui représentent des rues, des bâtiments et espace vert par des polygones et polylignes (Figure 4.1). Ces données viennent d'une base de données nationale de référence (comme base de données d'institut géographique libanais).

Chaque rue a deux attributs : longueur et largeur de l'unité mètre. L'espace vert est décrit par sa superficie. Chaque bâtiment est décrit par la hauteur, la superficie, le nombre d'étages, la capacité (le nombre total maximum des gens dans ce bâtiment),

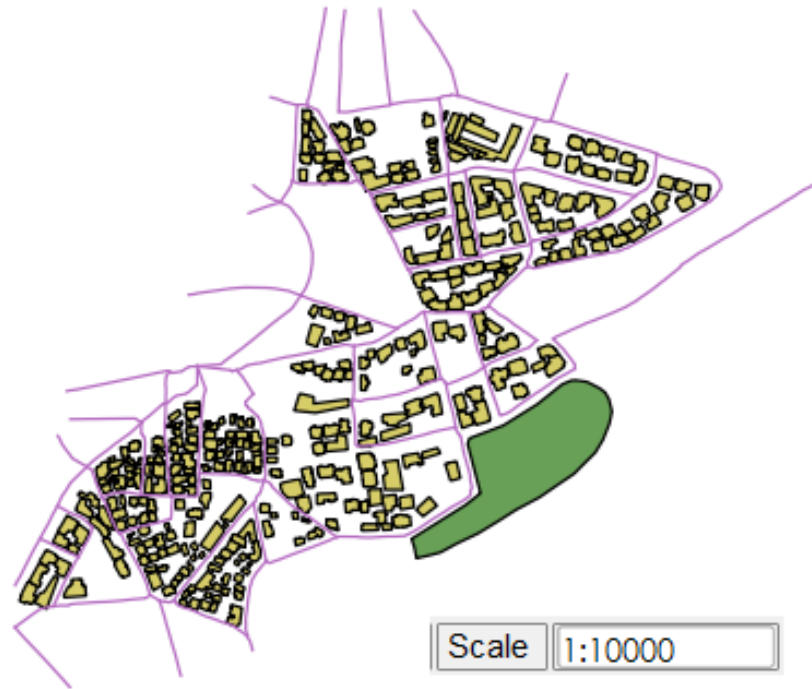


FIGURE 4.1: Représentation des rues (en violet), des bâtiments (en jaune) et espace vert (en vert) du quartier Sioufi par des données spatiales

le nombre total actuel des gens dans ce bâtiment, la fonction de bâtiment (résidence, école, hôpital ou centre de sauvetage), le niveau de dommage qui sert à classifier le dommage des bâtiments à cause du séisme (qui est pris en compte de l'état antérieur de bâtiments) en trois groupes : major (bâtiment complètement effondré), heavy (bâtiment très endommagé avec beaucoup de débris tombés) et moderate (bâtiment avec quelques débris tombés).

4.3 Autres données

En ce qui concerne les données démographiques, le dernier recensement de la population libanaise a été réalisé en 1932. Cette information est très ancienne et ne peut pas être utilisée dans le modèle. Par conséquent, la population a été estimée à 3,8 personnes par appartement. Donc, il y a environ 10000 personnes dans le quartier.

Chapitre 5

Conception du modèle

Dans cette section, on réaffirme l’objectif de notre modèle ainsi que des comparaisons entre des travaux existants et notre modèle, puis on décrit les agents, leurs attributs ainsi que leurs comportements et des paramètres d’entrées.

5.1 L’objectif du modèle

Le but de ce modèle dans un premier temps est de reproduire une situation post-sismique au Liban basée sur les informations de l’enquête. Précisément, on simule la mobilité des individus et leurs comportements juste après un tremblement de terre (dans environ deux heures après le séisme pour le cas d’un quartier). Dans cette situation, des obstacles induits par le séisme, y compris la zone apparaissant des débris tombés de bâtiments endommagés, peuvent blesser des gens et empêcher le mouvement des individus, surtout vers des endroits sûrs. Les résultats de simulation montrent des informations sur les dommages physiques et humaines (le nombre de bâtiments endommagés, rues bloquées, le nombre de victimes, le nombre de personnes dans les zones dangereuses, le temps d’évacuation, etc.).

Dans un second temps, on crée des scénarios d’expérimentation avec des variations dans la répartition des comportements humains. On veut voir ce qui se passe (le changement dans les dommages, le nombre de décès et d’exposition au danger) si les gens agissent de manières différentes. Ces résultats peuvent servir à informer les gens pour améliorer leurs comportements, par exemple en formant la base d’une campagne d’information.

5.2 Comparaisons entre des autres travaux existants et le nôtre

Avant présenter la conception du modèle, je vous donne quelques comparaisons entre les autres travaux de MSBA en cas d'une catastrophe naturelle et le nôtre pour qu'on puisse comprendre mieux l'objectif de ce travail. Premièrement, nous nous concentrons à modéliser et simuler des comportements d'évacuation comme des travaux de Yozo Goto et al. [9] ou Nguyen Thi Ngoc Anh et al. [15]. Deuxièmement, notre travail est basé sur situation réelle, nous souhaitons que le modèle reflète la réalité plus proche possible. Le nombre moyen d'agents simulés est milliers (pour un quartier). Dans certains travaux recherchés, centaines d'agents ou moins sont simulés, par exemple dans le modèle de secours centralisé pour les personnes handicapées vu ci-dessus [7], les auteurs n'ont testé qu'avec 20 agents. Troisièmement, les données GIS sont utilisés dans notre travail. Quatrièmement, la période d'évacuation simulée commence juste après la décision des individus concernant leurs comportements adoptés (dans quelques heures au sein d'un jour), la période de pré-évacuation après le séisme (des individus sont paniques, cherchent des informations, ne savent pas quoi faire) [18] n'est pas prise en compte. Finalement, pour l'aspect comportemental, on veut se concentrer aux comportements d'évacuation et simplifier le modèle, donc on suppose que tous les agents sont marcheurs et la densité des agents dans les rues n'est pas prise en compte (la différence avec [9]). Lorsque le modèle est plus complexe, on peut développer plusieurs types de transport ainsi que des groupes d'agents (par exemple familles). De plus, l'agent leader dans notre modèle est une personne non formée qui peut mieux gérer le stress. Il ne sait pas la situation complète au moment-là, y compris des rues bloquées.

5.3 Agents et leurs attributs

Notre modèle se compose de six entités : Human, Street, Building, Green space, Quake et Obstacle. Leurs attributs sont divisés en trois groupes : la position et la visualisation (par exemple location, color, etc.), les caractéristiques de chaque agent (l'agent Human possède des attributs tels que age, sex, profession, etc.; l'agent Building possède des attributs tels que height, capacity, etc.), et des attributs spéciaux pour leurs comportements (street_knowledge, target, etc.).

Agent	Attribut	Type	Condition
Human	location	point	$10 \leq \text{age} \leq 90$ valeur par défaut : 1 (marcher) $\text{age} \geq 60 : 0.6 - 0.8\text{m/s}$, $\text{age} < 60 : 0.6 - 1.4\text{m/s}$ $0 \leq \text{perception_risk} \leq 10$ valeur par défaut : 10 (mètre)
	color	rgb	
	sex	bool	
	age	integer	
	profession	string	
	type_transport	integer	
	speed	float	
	change_plan	bool	
	perception_risk	integer	
	target	point	
Building	radius_perception	float	
	street_knowledge	map	
	known_blocked_streets	list	
	exposed	bool	
	is_leader	bool	
	leader	Human	
Green_space	location	point	
	color	rgb	
	height	float	
	capacity	integer	
	function_building	string	
	damaged	string	
	radius_damaged	float	
Obstacle	location	point	valeur par défaut : 0.5
	color	rgb	
	density	float	
	area	float	
Obstacle	location	point	valeur par défaut : 1 (obstacle induit par séisme)
	color	rgb	
	type	integer	
Obstacle	size_category	integer	
Quake	intensity	float	
	time_record	string	
Street	location	point	
	color	rgb	
	streetwidth	float	
	streetlength	float	
	blocked	integer	

TABLE 5.1: Agents et leurs attributs

5.3.1 Agent Human

L'agent Human est le plus important compte tenu l'objectif du modèle, il représente les habitants dans le quartier Sioufi, Beyrouth, Liban. Juste après un tremblement de terre, ils peuvent se déplacer (marcher) sur des rues non bloquées ou rester sur place selon leurs propres décisions. D'une part, ils peuvent devenir des leaders informels qui savent où ils peuvent aller après le séisme. D'autre part, ils peuvent être des suiveurs qui ne savent pas où aller et cherchent d'un leader dans leurs zones de perception, puis le suivent. Si un suiveur ne trouve pas un leader, il erre.

L'agent Human peut observer des obstacles et les autres agents Human à l'intérieur de sa zone de perception (l'attribut `radius_perception` dans le tableau 5.1). Après avoir rencontré un grand obstacle, l'agent Human peut agir de manières différentes. S'il est leader, il va choisir un autre chemin pour atteindre sa destination. S'il est errant, il va aller à une autre destination. Dans ces cas-là, Human peut mémoriser les rues bloquées observées pour éviter à l'avenir et mettre à jour sa connaissance sur le blocage des rues (une liste des rues bloquées). Le comportement de perception des obstacles et des capacités correspondants de l'agent seront expliqués dans la partie suivante.

L'agent Obstacle peut avoir l'impact sur l'agent Human (voir ci-dessous).

5.3.2 Agent Obstacle

Concernant des obstacles, il y a des obstacles naturels (escarpement), des obstacles artificiels (escaliers) et des obstacles induits par séisme. Dans ce travail, on se concentre sur les obstacles induits par des bâtiments endommagés par le séisme (l'attribut `type = 1` dans le tableau 5.1). L'agent Obstacle représente des zones dangereuses couvrant des bâtiments endommagés qui peuvent contenir des débris tombés. Basé sur le niveau de dommages des bâtiments fournis dans les données, on peut diviser les obstacles en trois niveaux : grand, moyen et petit (correspondant à l'attribut `size_category` égal à 3, 2, 1 dans le tableau 5.1). Par exemple, des bâtiments complètement effondrés induisent de grands obstacles, des bâtiments très endommagés avec beaucoup de débris tombés induisent des moyens obstacles et ceux avec quelques débris tombés induisent de petits obstacles. La forme de l'obstacle ressemble à cela du bâtiment, le rayon de l'obstacle est égal à un tiers de la hauteur du bâtiment (figure ci-dessous). Les grands obstacles

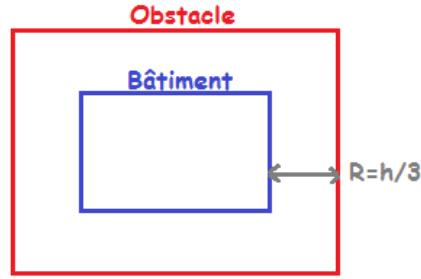


FIGURE 5.1: Illustration de la forme et du rayon d'obstacle.

détruisent toutes les rues proches et les gens dans leurs zones, si un agent Human entre dans ces zones, il serait mort. Dans les zones des moyens et petits obstacles, les gens sont exposés au danger, ils ont du risque élevé d'être blessé par des débris tombés. Les obstacles moyens peuvent empêcher la circulation des personnes dans ces zones à cause des tas de débris tombés.

5.3.3 Autres Agents

Ce sont des agents de l'environnement. L'agent Quake représente le tremblement de terre, en particulier l'intensité et le moment qu'il se passe.

L'agent Green space représente des espaces verts dans le quartier. A côté de la superficie, la position, il possède l'attribut " density " (tableau 5.1) qui représente la densité d'agent dans son enceinte. La valeur à défaut de cet attribut est $0.5 \text{ personne}/m^2$.

L'agent Building indique des bâtiments. Des attributs remarquables sont l'attribut pour le niveau de dommages des bâtiments (l'attribut damaged, tableau 5.1) et l'autre pour son rayon d'endommagement (l'attribut radius_damage, tableau 5.1). Il y a aussi des types de bâtiments représentés par l'attribut function_building (tableau 5.1) par exemple : résidence, école, hôpital, centre de sauvetage, etc.

L'agent Street qui représente des rues dans le quartier. Un graphe pondéré est construit à partir des rues, chaque rue est une arête du graphe et chaque intersection de rues est un sommet. Des rues normales reçoivent de petits poids (par exemple : la longueur de la rue), mais des rues bloquées ont des poids très élevés par rapport aux rues normales (par exemple : un milliard). L'application des poids sur ce graphe est selon chaque connaissance de rues bloquées d'agent Human. Cette application permet aux agents de trouver le meilleur chemin selon leurs connaissances. Par exemple, supposons qu'on a

un graphe de quatre arêtes 1, 2, 3, 4 avec des rues bloquées 1, 2, 3. Agent A connaît des rues bloquées 1, 2 tandis qu'agent B connaît la rue bloquée 3. Donc, l'application des poids pour les arêtes d'agent A est 10^9 , 10^9 , 1, 1 tandis que celle d'agent B est 1, 1, 10^9 , 1. Agent A va choisir la rue 3 ou 4 pour continuer (à ce moment-là il ne connaît pas que la rue 3 est bloquée) et agent B va choisir une des rues 1, 2 et 4.

Certains attributs ne sont pas utilisés dans cette version de modèle (par exemple l'attribut *intensity* de l'agent Quake, tableau 5.1), mais ils seront implémentés dans des versions suivantes. L'échelle spatiale dans notre modèle est en mètre et chaque cycle de simulation dure une seconde. La simulation commence après tous les agents Human ont décidé leurs destinations (cibles) et se termine lorsque tous les leaders atteignent à leurs cibles.

5.4 Comportements des agents

5.4.1 Comportements de l'agent Human

Il faut distinguer les comportements réels des personnes synthétisés à partir de l'enquête et ceux simplifiés dans le modèle. En fait, ce que les gens font dans la réalité est plus complexe. Dans notre modèle, on se concentre sur la mobilité des personnes, les aspects comportementaux donc plus complexes ne sont pas pris en compte.

De l'enquête, nous synthétisons 5 comportements des personnes. Nous ajoutons un comportement qui est reporté dans des cas similaires, imiter les autres (leader-suiveur). Ce comportement nous permet de voir la relation entre le nombre de survies et le nombre de personnes qui savent ceux qu'il faut faire pendant et après une secousse.

1. Se déplacer sans changer d'activité (pour ceux qui travaillent)(C1).
2. Rester sur place parce qu'ils ne changent pas d'activité (pour ceux qui ne travaillent pas)(C2).
3. Changer d'activité et aller se mettre en lieux sûrs (C3).
4. Changer d'activité et aller dans un autre lieu qui n'est pas sûr (ou on ne sait pas)(C4).
5. Changer de planning et rester sur place (annuler plan)(C5).

6. Imiter les autres (C6).

La simulation commence lorsque tous les agents ont déterminé leurs destinations. Donc, dans le modèle, d'un point de vue de la mobilité, les comportements 1, 3 et 4 sont équivalents (l'agent se déplace), et les comportements 2 et 5 sont équivalentes (l'agent ne bouge pas).

Les comportements humains sont divisés dans trois groupes : le mouvement, la perception d'obstacles et l'imitation. Le comportement de mouvement est plutôt pour pousser les gens à se déplacer tandis que la perception des obstacles et l'imitation sont pour déterminer et mettre à jour des destinations et des connaissances sur le blocage des rues.

5.4.1.1 Comportement de mouvement

Comme vu dans la section ci-dessus, les rues sont considérées comme un graphe pondéré. Agent Human se déplace sur ce graphe et détermine le plus court chemin basé sur les poids des rues pour atteindre sa cible (destination). Par exemple, la cible de l'agent peut être un bâtiment, l'espace vert, un coin de rue, ou un endroit hors du quartier (agent sort du quartier). Par ailleurs, la connaissance des rues de l'agent est considérée comme une liste des poids appliqués pour le graphe. Chaque agent possède une connaissance des rues différente, des poids appliqués pour le graphe sont donc différents selon des agents. Ainsi, le plus court chemin vers la cible dépend de deux facteurs : la cible et la connaissance des rues.

La figure 5.2 montre le processus du comportement de mouvement au long de la simulation. Agent suit le plus court chemin pour atteindre sa cible. S'il n'a pas de chemin, il le créera. Il met à jour la connaissance des rues, le plus court chemin et la cible (seulement pour agent errant) lorsqu'il arrive au point d'intersection (voir le comportement de la perception des obstacles). Il continue jusqu'à ce qu'il arrive à sa cible.

5.4.1.2 Comportement de perception des obstacles

L'agent Human peut observer des obstacles et des rues bloquées dans sa zone de perception, mémoriser les rues bloquées observées pour éviter à l'avenir. S'il entre dans les

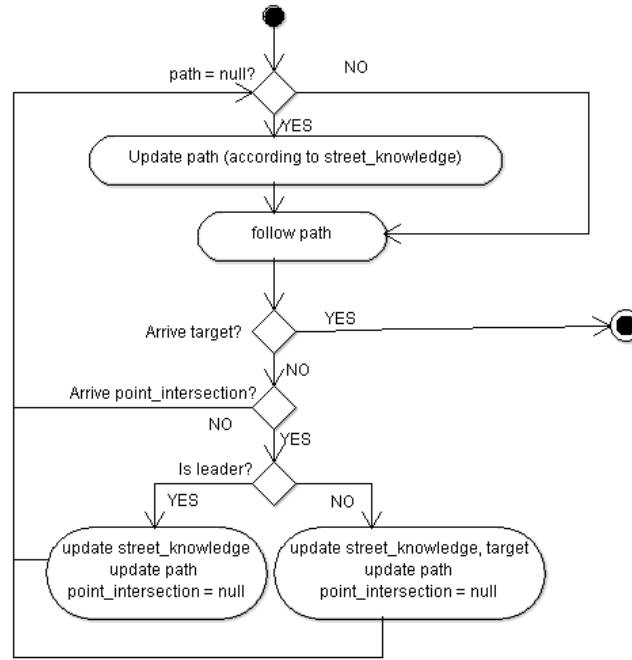


FIGURE 5.2: Processus du comportement de mouvement.

zones des obstacles petits et moyens, il est exposé. De plus, dans les zones des obstacles moyens, il marche plus lentement parce que plusieurs débris tombés empêchent le mouvement de l'agent. S'il entre dans les zones de grands obstacles, il est probablement mort.

En conséquence, pour éviter de grands obstacles, l'idée est qu'agent trouve un autre chemin pour atteindre à sa cible (avec leaders) ou pour atteindre à la nouvelle cible (avec agents errants). La méthode la plus simple est de mettre à jour la connaissance des rues bloquées et le chemin vers la cible lorsque l'agent rencontre un obstacle. Cependant, cette méthode mène aux problèmes.

Dans le modèle, on observe certaines configurations de rues bloquées (figure 5.3).

Cercle rouge est un grand obstacle, carré bleu est un agent Human. (1) Agent dans la zone qu'il n'y a pas de chemin de sortie. (2) Le segment de la rue dans laquelle l'agent se déplace avant de rencontrer obstacle est plus long. (3) Le segment de la rue dans laquelle l'agent se déplace avant de rencontrer obstacle est plus petit. (4) Agent est entre deux bouts de la rue où il y a des obstacles. (5) Agent peut voir obstacle sur autre rue, car obstacle est près d'agent.

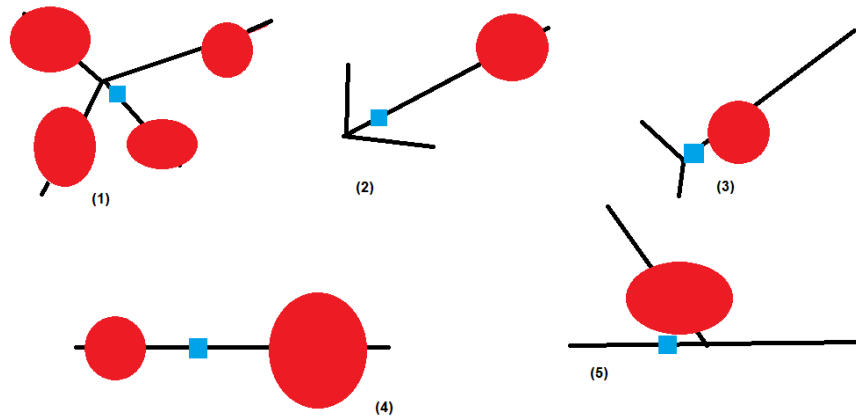


FIGURE 5.3: Configurations des rues bloquées.

Premièrement, avec la configuration (2), l'agent est encore dans la rue bloquée, il faut retourner pour prendre une autre rue, mais le segment de la rue pour retourner est plus long que le reste de la rue, alors agent choisit souvent d'entrer dans l'obstacle. Pour résoudre à ce problème, il faut que l'agent retourne au point d'intersection précédent après avoir rencontré un obstacle (figure 5.4). Puis les poids des rues bloquées sont mis à jour, les leaders choisissent autres chemins pour aller à leurs cibles et les agents d'errants choisissent autres cibles pour y aller. Si un agent rencontre un obstacle dans la configuration 5, il met normalement à jour les poids.

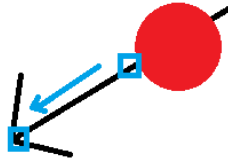


FIGURE 5.4: Agent se déplace vers le point d'intersection.

Deuxièmement, pour les configurations (1) et (4), l'agent n'a pas de choix, il passe des obstacles pour sortir. Afin de résoudre ce problème, on ajoute un paramètre concernant le nombre maximal de fois que l'agent rencontre des obstacles (2-3 fois). Après ce nombre de fois, l'agent s'arrête et reste sur place. Cet ajout est convient à l'aspect psychologique de personnes dans l'évacuation. S'ils essayaient de trouver un chemin pour atteindre à sa destination, mais il ne le trouve pas, ils s'arrêtent. La figure 5.5 indique l'idée du comportement de la perception d'obstacles dans un cycle de simulation.

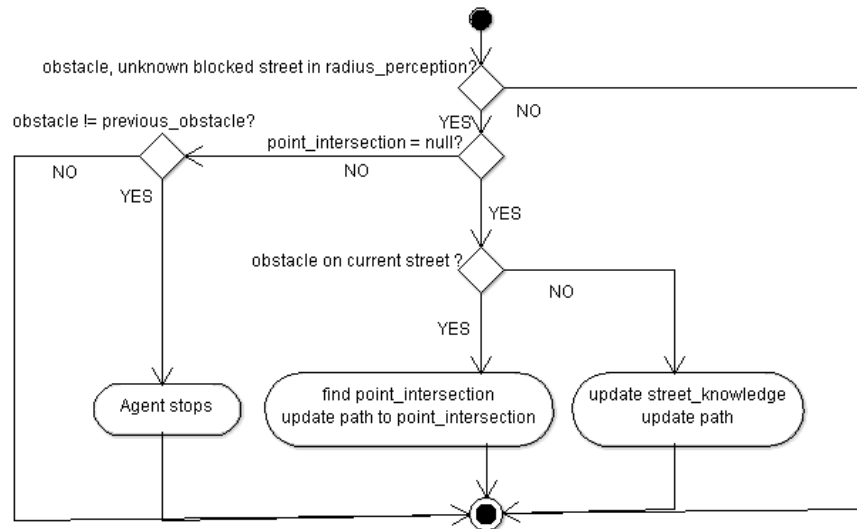


FIGURE 5.5: Processus de perception de grands obstacles.

5.4.1.3 Comportement d'imitation

Pour les suiveurs et les agents errants, au début, ils cherchent aléatoirement un leader autour d'eux. S'ils trouvent un leader, ils le suivent et deviennent suiveurs. Ils mettent à jour leurs cibles à la position du leader et les chemins pour le suivre. S'ils ne trouvent pas de leader, ils errent et continuent à chercher un leader. La figure 5.6 montre le processus d'imitation dans un cycle de simulation.

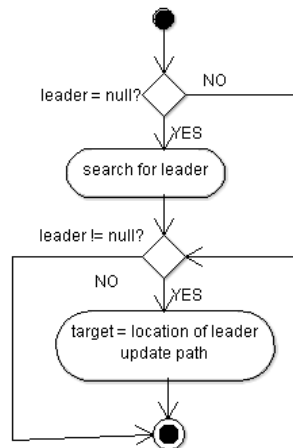


FIGURE 5.6: Processus d'imitation.

Pour les leaders, ils cherchent leurs suiveurs et diminuent leurs vitesses pour les plus lents suiveurs tous les 10 cycles de simulation. J'ai choisi 10 cycles car un leader ne peut pas chercher leurs suiveurs tout le temps. De plus, chercher tout le temps prend trop de

temps de calcul. Et 10 cycles de simulation est suffisant pour que le leader puisse saisir leurs suiveurs. La figure 5.7 montre le processus de réglage de la vitesse.

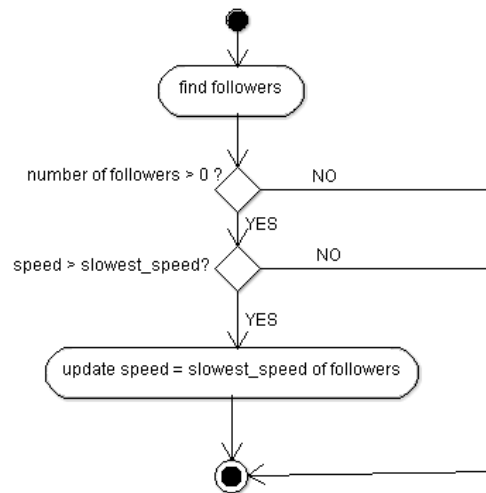


FIGURE 5.7: Processus de réglage de la vitesse.

5.4.2 Comportements de l'agent Obstacle

On trouve deux comportements pour l'agent grand Obstacle : dommage des rues et dommage humain. En fait, l'agent grand obstacle cherche tous les agents Street ou Human qu'il enchevauche et les fait bloquer ou détruire. Le comportement de dommage des rues est exécuté une fois dans la simulation (à l'étape d'initialisation car il n'y a pas de changement des agents Obstacle et Street pendant la simulation). Le comportement de dommage humain est exécuté à chaque itération de simulation.

5.5 Paramètres d'entrées

On divise des paramètres en catégories : Fichier GIS, Agent Human général, Comportement d'agents Human et Secousse (tableau 5.2). En variant des valeurs de ces paramètres, on peut créer des scénarios de simulation différents qui peuvent aider à voir l'effet des différentes campagnes d'information. Par exemple, on veut voir l'effet sur le nombre de victimes lorsque'un tremblement de terre se produit pendant la nuit, on peut assigner la valeur 100 (cent pourcent) pour le paramètre Probabilité de "personnes dans les bâtiments", ce qui indique une supposition que la nuit tout le monde est chez eux (dans des bâtiments). Il y a des remarques, d'abord la probabilité de voiture est

Catégorie	Paramètre	Condition
Fichier GIS	Fichier shapefile pour rues Fichier shapefile pour bâtiments Fichier shapefile pour espace vert	
Agent Human général	Nombre d'agents Probabilité de femme Probabilité de gens avec "age < 40" Probabilité de gens avec "40 ≤ age < 60" Probabilité de voiture	≥ 0, integer [0,100], float [0,100], float [0,100], float [0,100], float
Localisation d'agent Human	Probabilité de "personnes dans les bâtiments" Probabilité de " personnes dans des rues "	[0,100], float [0,100], float
Comportement d'agents Human	Probabilité de C1 Probabilité de C2 Probabilité de C3 Probabilité de C4 Probabilité de C5 Nombre de fois maximum lorsqu'agent rencontre obstacles Probabilité de suiveurs	[0,100], float [0,100], float [0,100], float [0,100], float [0,100], float ≥ 0, integer [0,100], float
Secousse	Jour de la semaine Heure	

TABLE 5.2: Liste des paramètres d'entrées

assignée à zéro, car dans le modèle il n'y a que des marcheurs. Et les proportions de comportements C1 à C5 sont pour les agents leaders.

Chapitre 6

Développement du modèle

Ce chapitre représentera dans un premier temps une plate-forme de modélisation et simulation à base d’agents pour développer le simulateur, GAMA (Gis and Agent-based Modelling Architecture). Dans un second temps, on verra des éléments principaux dans GAMA puis la structure de notre programme. Enfin, je vous montre des captures d’écrans de simulation.

6.1 Plate-forme de simulation à base d’agents utilisé

On peut voir une propagation importante des simulations à base d’agents pendant ces dernières années. De plus, l’apparition de plusieurs plate-formes de simulation (NetLogo, Swarm, Mason, RepastJ, GAMA, . . .) nous donne des choix et des défis pour trouver une plate-forme convenable pour notre travail.

Il faut noter des exigences [20] pour une plate-forme convenable. Premièrement, comme on utilise des données GIS pour représenter l’environnement (rues, bâtiments, . . .), la plate-forme doit soutenir le format du fichier GIS, particulièrement shapefile - le format le plus connu en ce moment. Deuxièmement, un outil de simulation moderne doit fournir non seulement des facilités à implémenter l’architecture de l’agent spécifique, mais aussi la possibilité d’initialiser des agents sans besoin de beaucoup d’efforts de programmation. Amouroux et al. ont donné une revue sur des plate-formes de simulation à base d’agents (Swarm, NetLogo, Mason, RepastJ) [20]. Parmi ces plate-formes, RepastJ est la seule qui supporte bien GIS, mais elle n’est pas facile à utiliser.

Par ailleurs, les auteurs ont présenté la plate-forme GAMA qui peut répondre à nos exigences. GAMA [21] est une plate-forme de simulation, qui vise à fournir aux experts, modélisateurs et informaticiens un environnement complet de modélisation et simulation pour construire des simulations multi-agents. Elle est développée par l'équipe de recherche MSI (situé à IFI, Hanoi et une partie de l'IRD / UPMC International Research Unit UMMISCO) depuis 2007.

GAMA est totalement convenable pour notre travail. En effet, elle peut intégrer des données GIS dans la simulation [22], y compris lire et écrire des données GIS et les utiliser comme la couche de fond où les agents peuvent se déplacer sur cette couche. Par exemple, certains agents peuvent se déplacer sur un réseau de routes, ce qui est fourni par les données GIS. GAMA peut aussi agentifier des données GIS. Une route sera un agent ou n'importe quel objet contenu un ensemble de données géographiques sera également représenté par un agent. De plus, elle permet de développer des modèles à multi-couches [22]. Un agent peut être modélisé comme un individu ou une agrégation (structure) des individus. En suite, GAMA offre également un langage de modélisation spécifique, GAML, ce qui permet d'implémenter facilement. Ce sont des raisons pour que l'on utilise GAMA pour développer le modèle. Dans notre travail, j'utilise la version 1.6 beta de GAMA car au moment de développement le simulateur, c'est la version la plus stable.

6.2 Éléments principaux dans GAMA

Le modèle de GAMA se compose de quatre parties principales : *global*, *entities*, *environment* et des *experiments*.

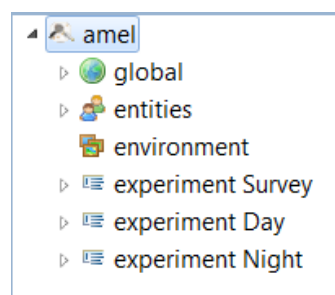


FIGURE 6.1: Structure du modèle de GAMA

Des éléments principaux d'un modèle de GAMA :

- *global* : est un type d’agent spécifique de GAMA. Elle définit les attributs, les actions et les comportements qui décrivent l’agent “Monde”.
- *entities* : est une partie pour définir des agents. Des agents dans GAMA sont appelés *species*.
- *environment* : définit la zone du monde examiné.
- *experiment* : est pour expérimentation, ce qui est capable de prendre en charge l’exécution de simulations du modèle. Dans cette partie, des paramètres différents sont assignés des valeurs pour créer des scénarios de simulation différents. De plus, on peut créer des affichages graphiques (*graphique*, *monitor*, ...) pour les informations de sortie.
- *species* : sont utilisés pour spécifier les structures et les comportements des agents. Un modèle peut contenir plusieurs *species*.
- *attribute* de *species* : indique des caractéristiques des agents.
- *action* de *species* : indique ceux qu’agents peuvent faire.
- Comportements de *species* : il y a quelques types :
 - *reflex* : Un réflexe est une séquence d’instructions qui peuvent être exécutées par l’agent à chaque cycle de simulation. C’est un moyen pratique pour spécifier les comportements des agents.
 - *init* : Une forme particulière de *reflex* qui n’est exécuté qu’une seule fois lorsque l’agent est créé, après l’initialisation de ses variables, et avant d’exécuter n’importe quel *reflex*.
- *aspect* : permet de définir la façon dont les agents seront affichés.

```
species a_name {  
  [attribute declarations]  
  [init]  
  [action declarations]  
  [behaviors]  
  [aspects]  
}
```

FIGURE 6.2: Déclaration de *species*

6.3 Structure du programme

Dans GAMA, j’ai créé le projet appelé *amel*. Figure ci-dessous montre la structure du projet. Des répertoires *doc*, *image*, *includes*, *models* et le fichier *.project* sont créés automatiquement par GAMA. Les répertoires *doc* et *image* contiennent des documents et

images du projet. Le répertoire includes contient tous les fichiers shapefile de données GIS, ce sont *buildings.shp*, *streets.shp* et *green_space.shp*. Le répertoire models comprend le code du modèle, j'ai créé le fichier de modèle appelé *amel.gaml*.

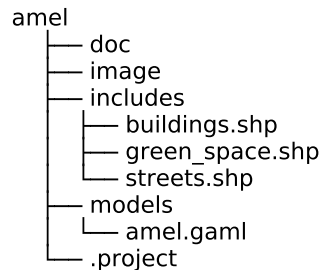


FIGURE 6.3: Structure du projet AMEL

Le modèle de GAMA *amel* se compose de quatre parties principales : *global*, *entities*, *environment* et des *experiments* (figure 6.1).

6.3.1 Global

Dans cette partie, on :

- Importe des fichiers shapefile, lesquels dans le répertoire includes,
- Définit des paramètres (voir partie 5.4),
- Définit des variables globales,
- Initialise des agents (Street, Building, Human, Green space et Quake),
- Définit quelques réflexes globaux, par exemple : *stop_simulation* pour stopper la simulation ou *count_results* pour compter le nombre de personnes exposées, le nombre de suiveurs ...

6.3.2 Entities

Dans cette partie, on définit les agents (species). Des éléments des species ont présenté ci-dessus. Des attributs des species sont créés comme dans la conception du modèle. Tous les species ont aspect appelé base qui permet de dessiner des agents. Les comportements des agents, surtout l'agent Human et Obstacle, ont divisé en plusieurs réflexes. Ces réflexes réalisent des tâches comme dans la conception.

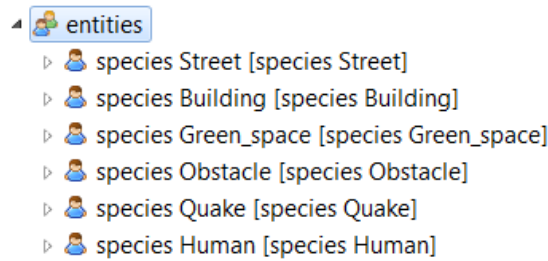


FIGURE 6.4: Liste des species.

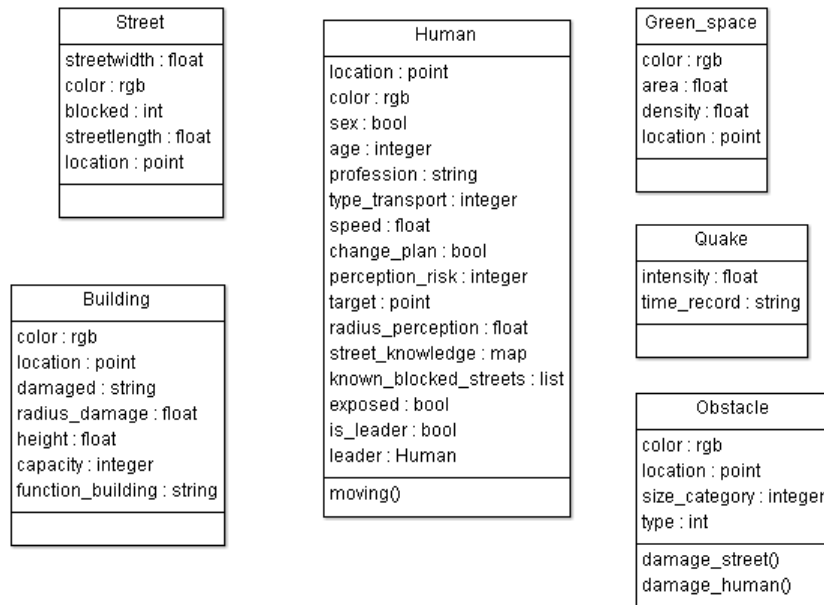


FIGURE 6.5: Conception du modèle amel.

- Agent Obstacle a deux comportements : dommage des rues et dommage humain. Le premier comportement est réalisé à l'étape d'initialisation (pour augmenter la vitesse de simulation). Le deuxième comportement est transformé en reflex *damage_people*.
- Agent Human a trois groupes de comportements : le mouvement, la perception d'obstacles et l'imitation. Voici les reflexes correspondants aux comportements :
 - Le mouvement : *reflex movement*.
 - La perception d'obstacles :
 - *Reflex percep_big_obstacle* : pour but de changer la cible d'agent (target), mémoriser des rues bloquées lors de rencontrer un grand obstacle.
 - *Reflex percep_medium_obstacle* : diminuer la vitesse d'agent lors d'entrer dans la zone d'obstacle moyen, restaurer la vitesse initiale lors de sortir cette zone.
 - *Reflex human_exposed* : changer l'attribut exposed à vrai si l'agent entre dans une zone d'obstacle, sinon le changer à faux.

- *Reflex change_target* : après 2-3 de fois (dépend de paramètre d'entrée), l'agent s'arrête et reste sur place.
- L'imitation :
 - *Reflex imitate* : agent suiveur cherche un leader autour de lui et le suit.
 - *Reflex adjust_speed_leader* : agent leader cherche ses suiveurs et diminue sa vitesse pour le plus lent suiveur.
- Définit des variables globales,
- Initialise des agents (Street, Building, Human, Green space et Quake),
- Définit quelques réflexes globaux, par exemple : *stop_simulation* pour stopper la simulation ou *count_results* pour compter le nombre de personnes exposées, le nombre de suiveurs ...

6.3.3 Environment

Dans les versions anciennes de GAMA, cette partie définit la zone de simulation, y compris la zone couvrant toutes les rues. Dans la version 1.6 de GAMA, cette partie est inutile et n'est pas représentée dans le structure d'un modèle GAMA [21].

6.3.4 Experiment

Dans la partie experiment, il y a trois types d'expérimentation ci-dessous. Les différences entre les trois sont les valeurs de paramètres d'entrée.

- *Experiment Survey* : représente la situation réelle, des valeurs de paramètres viennent des issues de l'enquête. Il correspond à scénario 0 (chapitre 7).
- *Experiment Day* : représente des scénarios fictifs dans la journée, des agents sont distribués dans la rue et dans les bâtiments. Il correspond aux scénarios dans la journée.
- *Experiment Night* : représente des scénarios fictifs pendant la nuit, des agents sont distribués aux bâtiments, ils sont chez eux (donc la valeur du paramètre Probabilité de "personnes dans les bâtiments" est égal à 100). Il correspond aux scénarios pendant la nuit.

Les écrans de sortie pour trois types d'expérimentation sont pareils (la figure 6.6). Lorsqu'on choisit un de trois expérimentations ci-dessus, on peut voir quatre affichages :

- *Main_display* : écran principal de simulation.
- *Behaviors_Chart* : un camembert sur la proportion des comportements humains (seulement pour les agents leaders). On remarque que GAMA crée séquentiellement des agents. Donc, on utilise des paramètres de probabilité au lieu de ceux de proportion des comportements. Par exemple, avec chaque agent, je définis : $sex \leftarrow flip(60/100)$. Il s'agit que la probabilité de cet agent qui a son attribut $sex = 1$ (femme) est 60%. On trouve que chaque agent a la probabilité 60% d'être une femme mais le pourcentage total de femmes est environ 60% (le nombre d'agents dans des scénarios est 1000 agents). Donc, ce graphique permet de connaître la proportion des comportements créée.
- *Victime_Exposed_Charts* : des graphiques concernant les informations de sortie (le nombre de personnes exposées, le nombre de victimes, le nombre de leaders et le nombre de suiveurs ...).
- *Exposition_Time_Chart* : graphique sur la durée d'exposition totale. Il s'agit le temps que des gens sont exposées au danger. Si une personne est dans la zone dangereuse pendant long temps, elle a un risque plus élevé d'être blessée par des débris tombés.

La partie suivante va détailler les quatre écrans.

6.4 Captures d'écrans de simulation

6.4.1 Main_display

La figure 6.6 montre une capture d'écran de simulation. L'écran principal représente la zone examinée, le quartier Sioufi. Des rues sont en noir, l'espace vert en vert, des bâtiments en jaune et des obstacles en gris. Agents humains sont représentés par de petits cercles de différentes couleurs : couleurs chaudes (rouge, rose) pour les agents qui restent sur place ; couleurs froides (bleu, violet) pour les agents qui se déplacent, et la couleur cyan pour les suiveurs. J'ai également créé des affichages graphiques : graphique de comportements ; graphique sur le nombre de victimes, les personnes exposées, leaders et les suiveurs, et un graphique sur la durée d'exposition totale. Sur la droite, on peut voir les paramètres d'entrée ; ceux-ci concernent des comportements des agents humains, ainsi que certains paramètres globaux de simulation (partie 5.4).

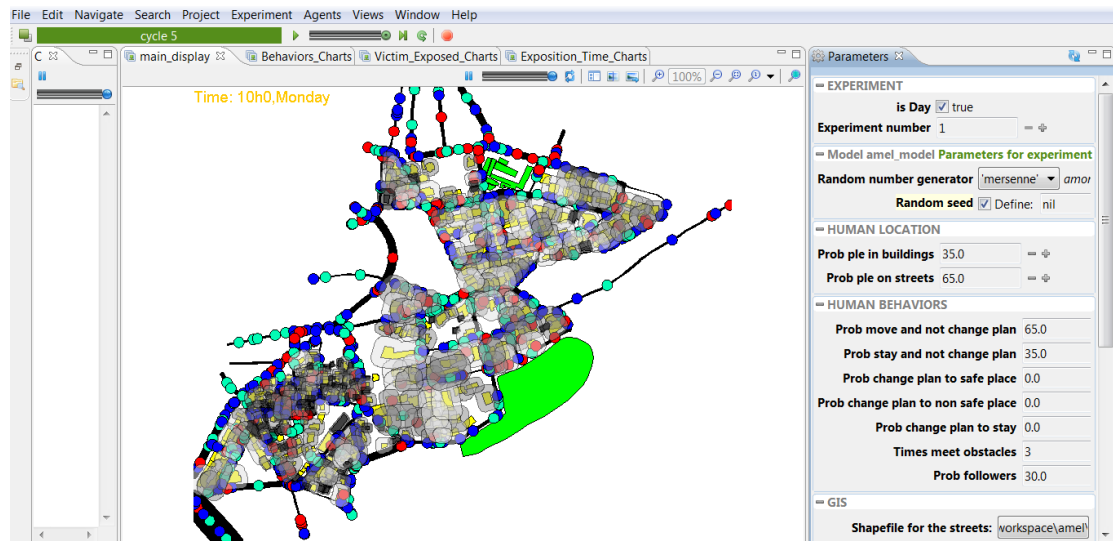


FIGURE 6.6: Capture d'écran de simulation.

6.4.2 Behaviour_Chart

La figure 6.7 montre un camembert de cinq parties qui représentent le nombre de leaders ayant les comportements indiqués. Dans cette simulation, il y a 1000 agents (paramètre Number of people), la probabilité de suiveur est 30% (paramètre prob followers). On peut voir dans le graphique qu'il y a 690 leaders.

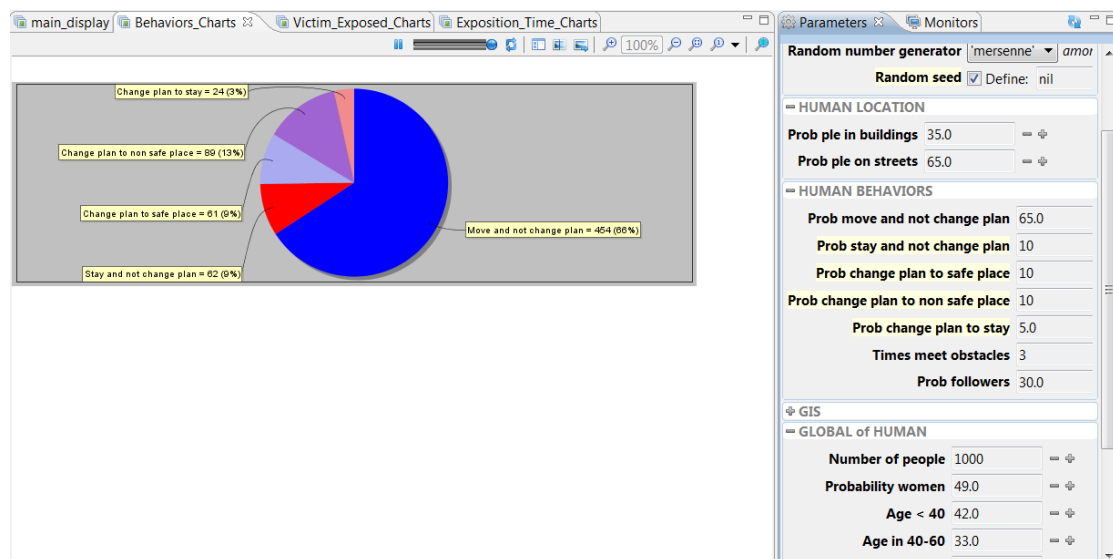


FIGURE 6.7: Behaviors_Chart. Bleu – le nombre de leaders qui se déplacent sans changer d'activité; Rouge – le nombre de leaders qui restent sur place sans changer d'activité; Bleu clair – le nombre de leaders qui changent d'activité et aller se mettre en lieux sûrs; Violet – le nombre de leaders qui changent d'activité et vont dans un autre lieu qui n'est pas sûr; Rose – le nombre de leaders qui changent activité et restent sur place.

6.4.3 Victime_Exposed_Charts

La figure 6.8 montre des graphiques concernant le nombre de personnes exposées, le nombre de victimes, le nombre de leaders et le nombre de suiveurs. Deux graphiques à gauche montrent les mêmes informations d'exposition tandis que deux graphiques à droite montrent les informations de leaders et suiveurs. Les graphiques par ligne sont mieux pour voir le changement des informations au cours de simulation tandis que les camemberts sont mieux pour voir les proportions à la fin de simulation.

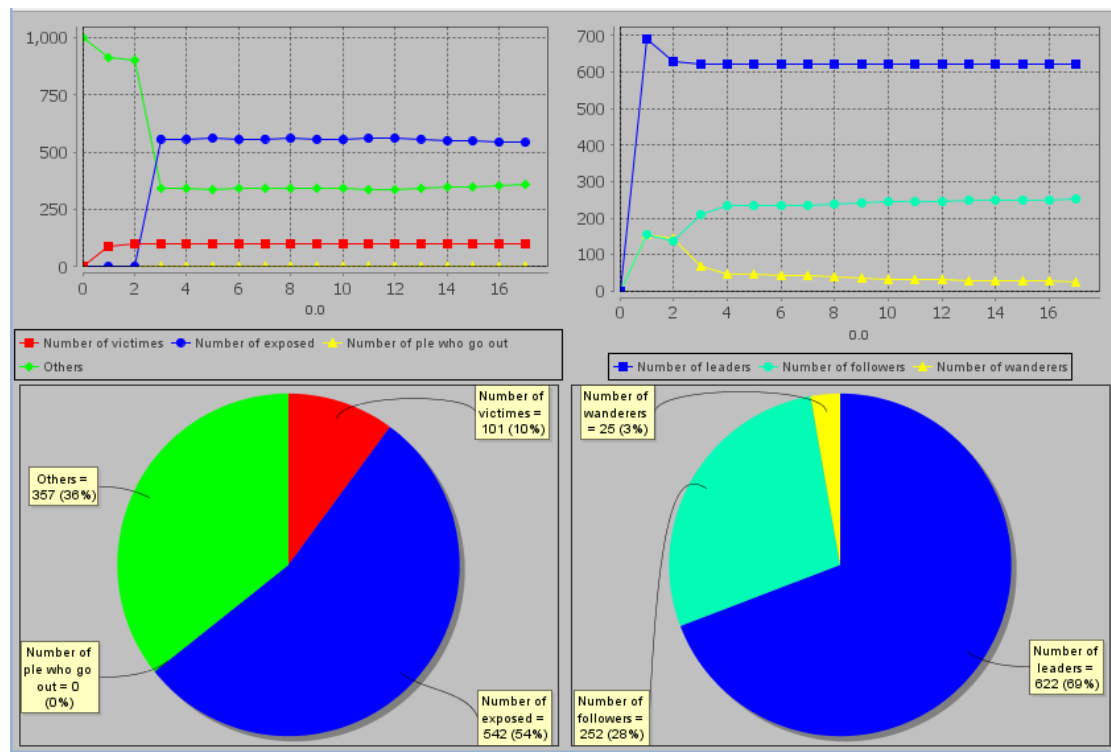


FIGURE 6.8: Victime_ Exposed_ Charts : (1) Deux graphiques à gauche : Rouge – le nombre de victimes; Bleu – le nombre de personnes exposées; Jaune – le nombre de personnes qui sortent du quartier; Vert – les autres. (2) Deux graphiques à droite : Bleu – le nombre de leaders; Jaune – le nombre de suiveurs; Cyan – le nombre de suiveurs qui ne suivent personne.

6.4.4 Exposition_Time_Chart

Ce graphique (figure 6.9) montre la durée d'exposition totale. L'axe horizontal indique des périodes de temps (en minute) et l'axe vertical indique le nombre de personnes exposées pendant une période de temps correspondante. Par exemple, la figure x montre une simulation de 1000 agents. A la fin de simulation, il y a environ 200 personnes qui sont exposées pendant une courte période de temps (de 0 à 5 minutes). Il y a plus de 400

personnes qui sont exposées pendant une longue période de temps (de 45 à 50 minutes). On peut voir une tendance d'accroissement de ce graphique. Cela veut dire qu'il y a beaucoup de personnes qui sont dans les zones dangereux pendant long temps, elles ont un risque élevé d'être blessées dans ces zones.

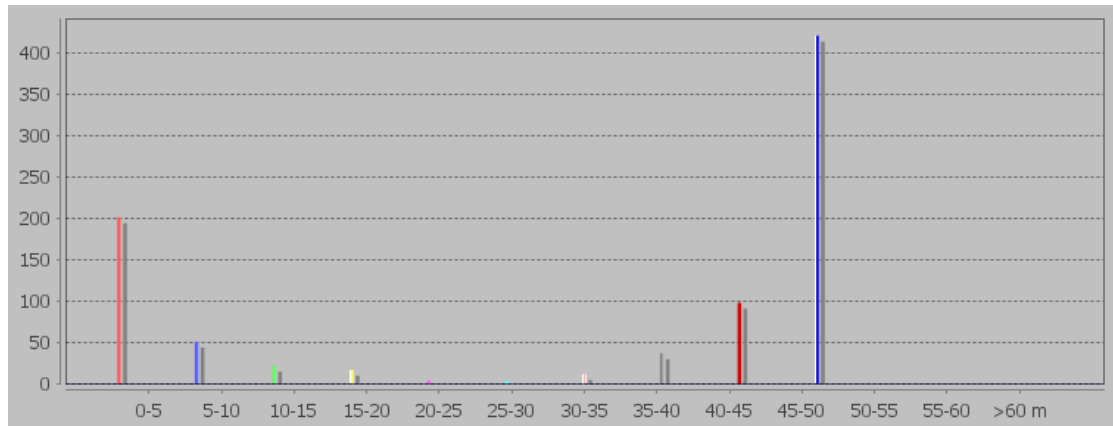


FIGURE 6.9: Exposition.Time.Chart : l'axe vertical : périodes de temps (minutes), l'axe horizontal : le nombre de personnes exposées.

Chapitre 7

Expérimentation

Dans ce chapitre, on verra des scénarios d'expérimentation, analyse de sensibilité puis des résultats et analyse des résultats d'expérimentation.

7.1 Scénarios

Comme vu dans l'objectif du modèle, dans un premier temps on reproduit une situation post-sismique au Liban qui est basée sur les informations de l'enquête (proportions des comportements). Cela est marqué par le scénario 0. Dans un second temps, on crée des scénarios fictifs qui représentent des situations pessimistes, insuffisantes et optimistes. En variant des valeurs de paramètres, on peut créer des scénarios différents, chaque scénario correspond à une façon de réaction des individus (par exemple scénario 1 : des individus ne changent pas de planning). La figure 7.1 montre le détail des scénarios (voir la partie 5.4 pour le détail des paramètres d'entrée).

Scénario	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Prob people in buildings	100	35	100	35	100	35	35	35	35
Prob people in street	0	65	0	65	0	65	65	65	65
Prob move and not change plan	12	65	65	0	0	0	0	0	0
Prob stay and not change plan	57	35	35	0	0	0	0	0	0
Prob change plan to safe place	2	0	0	0	0	100	100	100	100
Prob change plan to not safe place	9	0	0	100	100	0	0	0	0
Prob change plan to stay	20	0	0	0	0	0	0	0	0
Nb of people	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Probability women	49	49	49	49	49	49	49	49	49
Age <40	42	42	42	42	42	42	42	42	42
Age 40-60	33	33	33	33	33	33	33	33	33
Prob follower	0	30	30	30	30	0	0	0	0

FIGURE 7.1: Scénarios et des paramètres d'entrée.

La population estimée du quartier est environ 10000 habitants. Pourtant, dans des scénarios, on ne simule que 1000 agents car la vitesse de simulation 10000 agents est très lente (dans ce cas chaque simulation dure plus d'une journée avec mon ordinateur de 2Go de mémoire vive). C'est faisable pour une simulation avec 1000 agents qui dure environ 2 heures. En outre, la variation des valeurs de paramètres dans des scénarios se concentre aux paramètres concernant les comportements. Des autres valeurs de paramètres (Probability women, Age < 40, Age 40-60) sont pareils pour tous les scénarios.

Les explications des scénarios :

- Scénario 0 – Reproduction de l'enquête : Des valeurs de paramètres sont extraites de l'enquête et conseillées par des experts (Ludvina Colbeau-Justin, psychosociologue et chercheur du projet LIBRIS, Elise Beck et Stéphane Cartier, chercheurs du projet LIBRIS). 12% des interrogés ont bougé et n'ont pas changé de plan initial, 57% ont décidé de ne pas se déplacer parce qu'ils ont choisi, 9% ont déclaré de se déplacer vers un lieu sûr (espace vert, hôpital, école, secours...) et 20% ont resté sur place pour écouter de la radio, regardé les dégâts... De plus, il n'y a pas de suiveur dans ce scénario.
- Scénario 1 – Situation pessimiste / jour : ce scénario représente une situation pessimiste pendant la journée. Tout le monde ne change pas d'activité. 35% de gens dans les bâtiments représente ceux qui ne travaillent pas. 65% de gens se déplacent comme leurs plans (aller au bureau, aller à l'école,...), 35% restent sur place.
- Scénario 2 - Situation pessimiste / nuit : Comme le scénario 1 mais il se produit pendant la nuit.
- Scénario 3 – Situation insuffisant/jour : Des gens adoptent des comportements de mobilité, mais ils vont aux lieux non sûrs (bâtiments ont été endommagés).
- Scénario 4 - Situation insuffisant/nuit : Comme le scénario 3 mais il se produit pendant la nuit.
- Scénario 5 – Situation optimiste 1 : Des gens vont aux lieux sûrs comme espace vert, ressources (hospitaux, écoles, centre de secours) ou des rues non endommagées (La répartition entre les lieux est égale).
- Scénario 6 – Situation optimiste 2 : Tous les gens vont vers l'espace vert.
- Scénario 7 – Situation optimiste 3 : Tous les gens vont dans la rue.
- Scénario 8 – Situation optimiste 4 : Tous les gens vont vers des ressources qui sont vraiment sûres.

Paramètre	Valeur de base	Valeurs de paramètre et pas d'augmentation
Prob ple in buildings (%)	35	[0..90] pas=10
Prob people in street (%)	65	[0..90] pas=10
Prob move and not change plan (%)	65	[0..100] pas=10
Nb of people (personnes)	1000	[100, 300, 500, 700, 1000, 1300, 1500, 1700, 2000, 2300, 2500, 2700, 3000]
Prob follower (%)	30	[0..90] pas=10

TABLE 7.1: Paramètres et l'amplitude

7.2 Analyse de sensibilité

Dans ce travail, on fait l'analyse de sensibilité pour avoir la meilleure compréhension des relations entre les paramètres d'entrée et les résultats de sortie. En détail, on applique l'approche one-factor-at-a-time (OFAT) [23] pour voir le changement de sorties lors du changement d'entrées. On déplace un paramètre d'entrée en laissant les autres à leurs valeurs de base, puis remet ce paramètre à sa valeur de base et répète cette façon pour les autres paramètres.

On fait l'analyse de sensibilité pour le scénario 1 car les valeurs de paramètres sont plus largement variées. La distribution initiale des agents sur la carte du quartier peut influencer aux résultats. Donc, l'analyse de sensibilité est divisée en deux parties : sans changement de distribution des agents et avec changement de distribution des agents. Pour la première partie, on utilise la même distribution des agents (pour paramètre Prob move and not change plan et Prob follower) tandis que pour la deuxième partie, on utilise des distributions différentes pour les cinq simulations. Pour toutes les deux parties, cinq simulations par un changement de paramètre sont exécutées. Le tableau 7.1 montre des paramètres et l'amplitude pour ces valeurs.

7.2.1 Sans changement de distribution initiale des agents

Dans les graphes (figure 7.2, 7.3), des points montrent des valeurs de sortie d'une simulation correspondant à une valeur de paramètre. Des lignes de même couleur montrent des simulations avec même distribution initiale des agents.

La figure 7.2 montre que ce paramètre n'influence pas aux valeurs de sortie. On peut voir dans la figure 7.3 que la valeur du paramètre augmente, le nombre de victimes et de

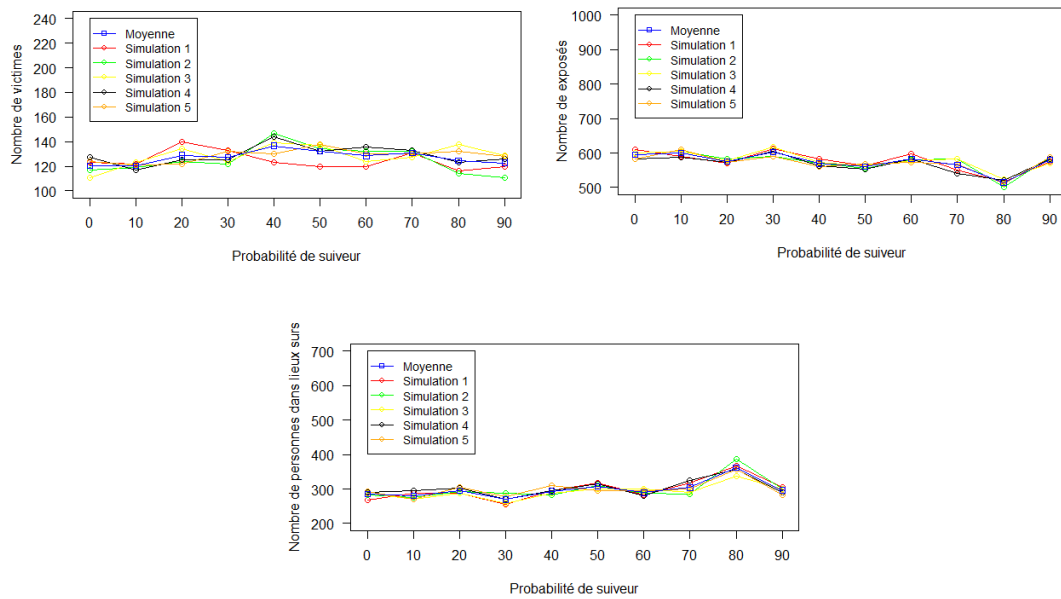


FIGURE 7.2: Diagramme des sorties selon la variation du paramètre "Probabilité de suivre"

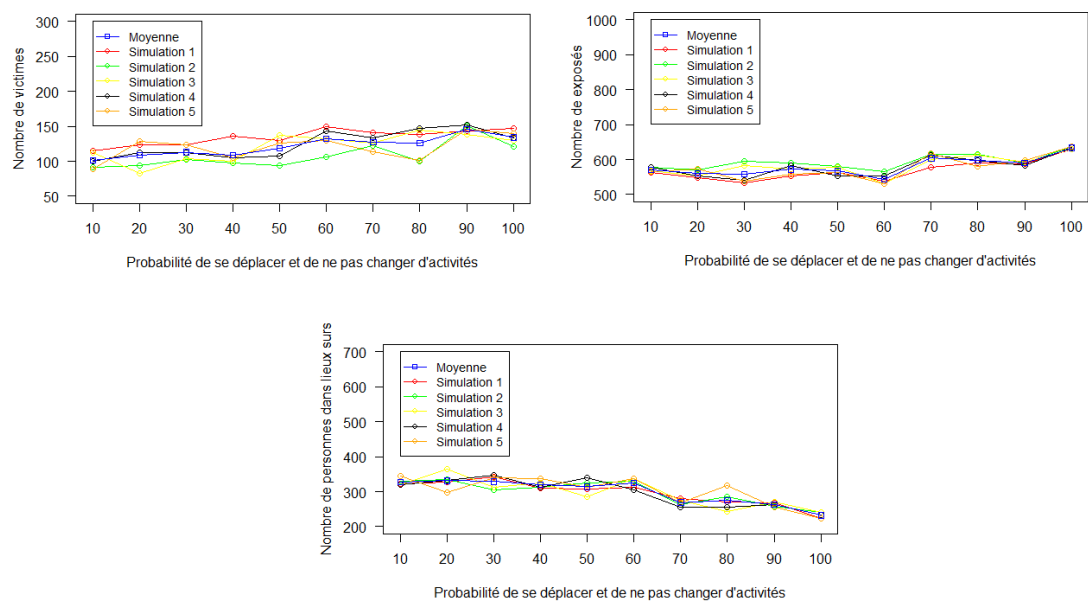


FIGURE 7.3: Diagramme des sorties selon la variation du paramètre "Probabilité de se déplacer et de ne pas changer d'activité"

personnes exposées augmente aussi, mais contrairement au nombre de personnes dans lieux sûrs.

7.2.2 Avec changement de distribution initiale des agents

Dans les graphes (figure 7.4, 7.5, 7.6, 7.7, 7.8), des points montrent des valeurs de sortie d’une simulation.

Dans la figure 7.4, on voit que le nombre de victimes augmente s’il y a plus de gens dans les bâtiments au début de la simulation, contrairement au nombre de personnes dans les lieux sûrs. On peut observer l’opposition dans la figure 7.5, plus de gens dans les rues, moins de victimes et personnes exposées. De plus, la variation de la valeur de deux paramètres n’influence pas le nombre de personnes exposées. En fait, la localisation initiale des agents influence au nombre de morts. Si un agent est dans un bâtiment complètement effondré au début de la simulation, il est mort. En outre, les localisations initiales des agents ne déterminent pas leurs destinations, les lieux sûrs ou à danger, ceux qui sont déterminées par leurs comportements. Donc, le nombre de personnes exposées n’est pas influencé par ces paramètres.

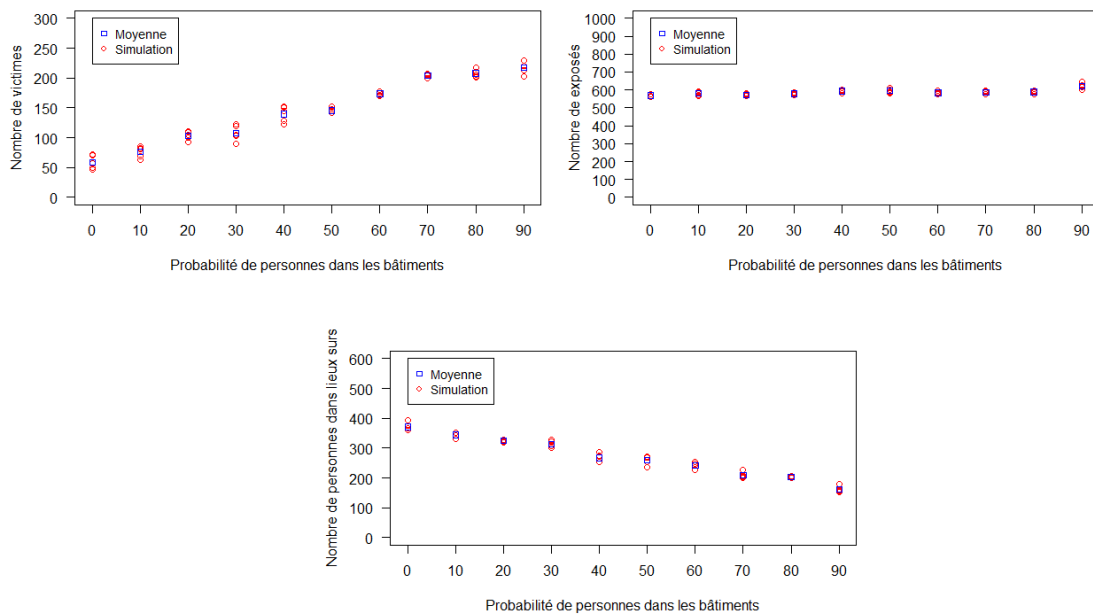


FIGURE 7.4: Diagramme des sorties selon la variation du paramètre ”Probabilité de gens dans les bâtiments”

La figure 7.6 montre que les valeurs de sortie ne changent pas beaucoup avec l’augmentation du nombre d’agents.

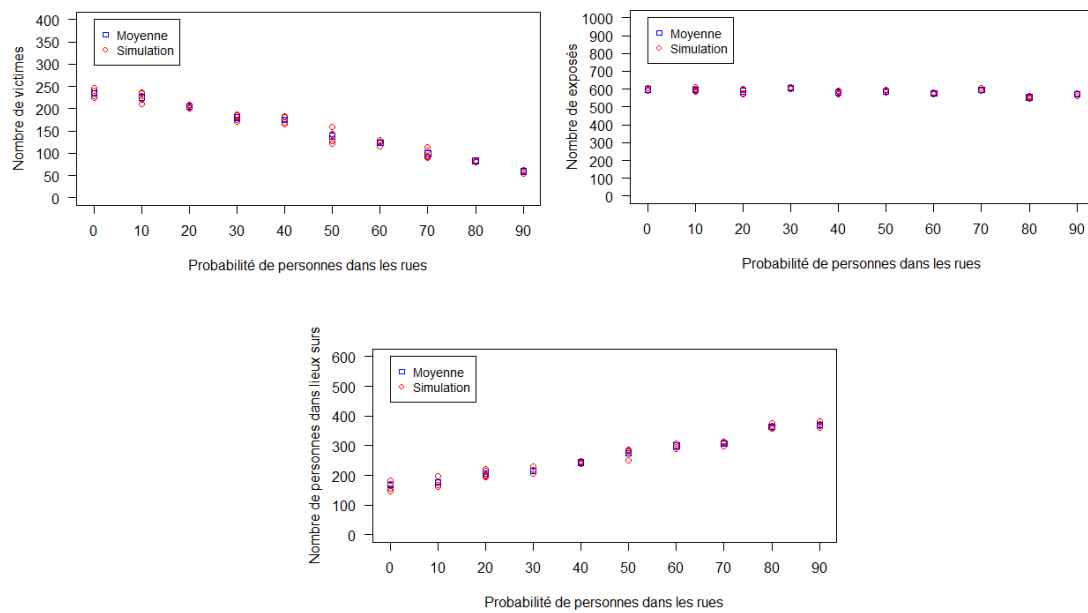


FIGURE 7.5: Diagramme des sorties selon la variation du paramètre "Probabilité de gens dans les rues"

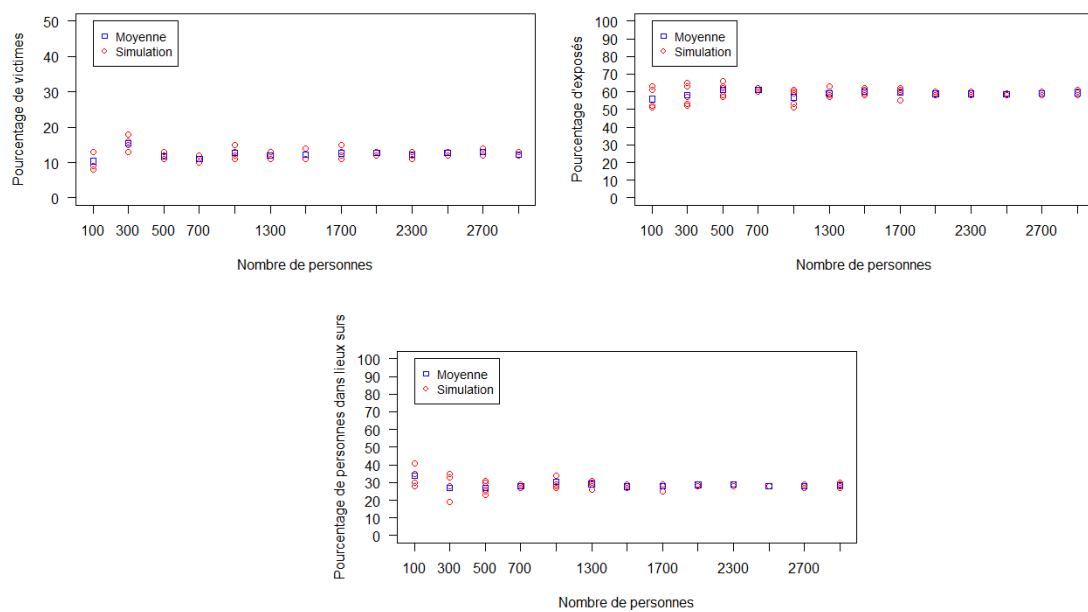


FIGURE 7.6: Diagramme des sorties selon la variation du nombre d'agents

La figure 7.7 et 7.8 sont comme la figure 7.2, 7.3 même si l'on change la distribution initiale des agents.

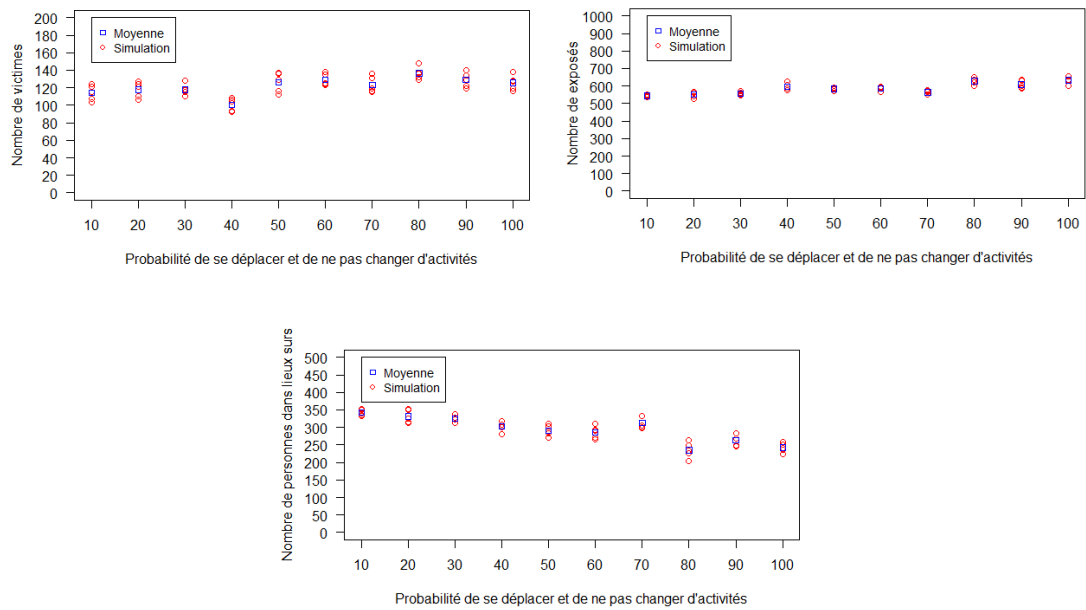


FIGURE 7.7: Diagramme des sorties selon la variation du paramètre "Probabilité de se déplacer et ne pas changer d'activité"

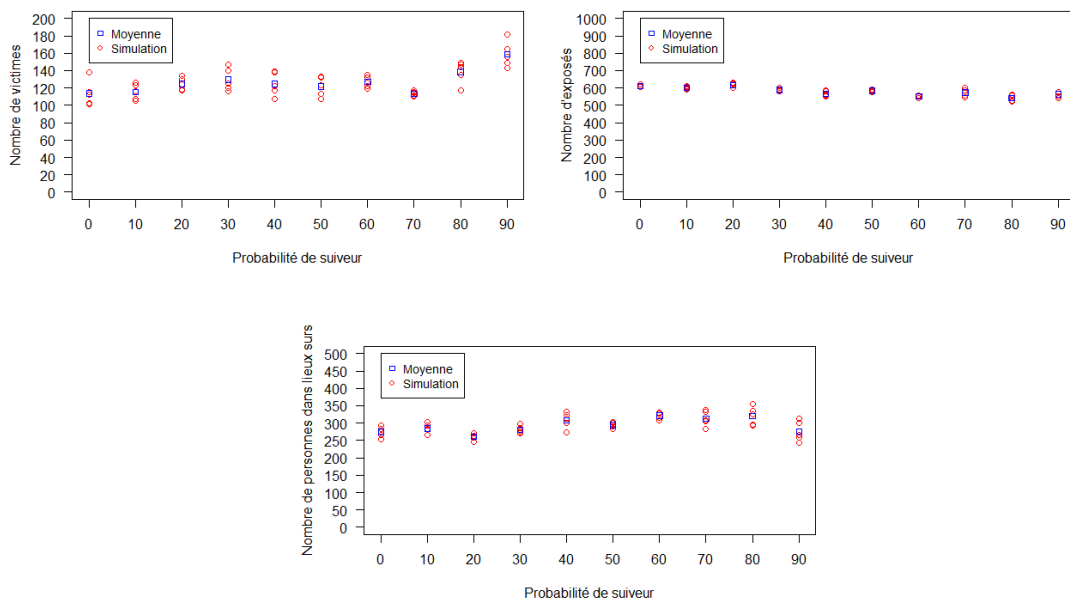


FIGURE 7.8: Diagramme des sorties selon la variation du paramètre "Probabilité de suivre"

Numéro de simulation	1	2	3	4	5
Temps d'évacuation (secondes)	2352	2518	2533	2329	2656
Nombre de victimes (personnes)	235	220	225	215	247
Nombre de personnes exposées (personnes)	715	737	719	741	691
Nombre de personnes qui sortent du quartier (personnes)	9	5	8	4	6
Nombre de personnes aux lieux sûrs dans le quartier (personnes)	41	38	48	40	56

TABLE 7.2: Tableau des résultats du scénario 0 (5 simulations)

Temps d'évacuation (secondes)	2478 (environ 41 minutes)
Nombre de victimes (personnes)	228
Nombre de personnes exposées (personnes)	721
Nombre de personnes qui sortent du quartier (personnes)	6
Nombre de personnes aux lieux sûrs dans le quartier (personnes)	45

TABLE 7.3: Tableau des résultats moyens du scénario 0

7.3 Résultats d'expérimentation

Chaque scénario a été exécuté 5 fois. Dans les sous-parties suivantes, je vous présente les résultats pour chaque scénario de 0 à 8. Chaque sous-partie contient le tableau des résultats de cinq simulations, le tableau du résultat moyen et les camemberts des résultats moyens qui montrent les proportions. Enfin, je vous donne l'analyse sur les résultats présentés.

7.3.1 Scénario 0 – Reproduction de l'enquête

Dans ce scénario, le nombre de suiveurs n'est pas pris en compte. Donc, on se concentre aux résultats concernant des victimes, personnes exposées, personnes qui sortent du quartier et qui sont aux lieux sûrs dans le quartier.

Les résultats de ces scénarios sont montrés dans le tableau 7.2, les résultats moyens sont dans le tableau 7.3, le camembert des résultats moyens est la figure 7.9.

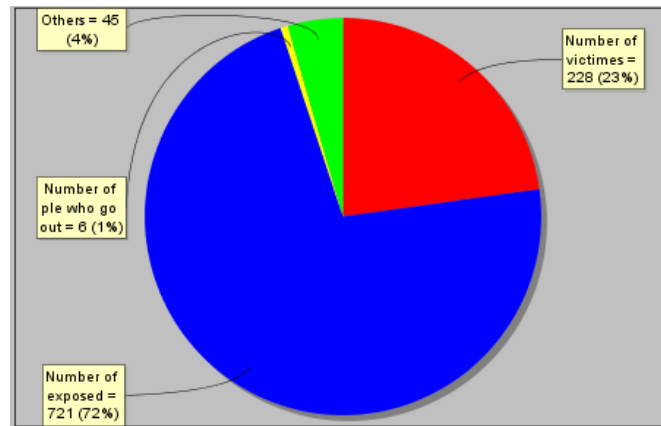


FIGURE 7.9: Camembert des résultats moyens du scénario 0 – Victim_Exposed_Chart.

Numéro de simulation	1	2	3	4	5
Temps d'évacuation (secondes)	3003	2452	2374	3020	2723
Nombre de victimes (personnes)	134	109	131	113	140
Nombre de personnes exposées (personnes)	567	600	577	602	611
Nombre de personnes qui sortent du quartier (personnes)	0	0	0	0	0
Nombre de personnes aux lieux sûrs dans le quartier (personnes)	299	291	292	285	249
Nombre de leaders	611	640	621	618	626
Nombre de suiveurs	255	251	247	269	234
Nombre de wanderers	0	0	1	0	0

TABLE 7.4: Tableau des résultats du scénario 1 (5 simulations)

Temps d'évacuation (secondes)	2714.4 (environ 45 minutes)
Nombre de victimes (personnes)	125
Nombre de personnes exposées (personnes)	591
Nombre de personnes qui sortent du quartier (personnes)	0
Nombre de personnes aux lieux sûrs dans le quartier (personnes)	284
Nombre de leaders	623
Nombre de suiveurs	252
Nombre de wanderers	0

TABLE 7.5: Tableau des résultats moyens du scénario 1

7.3.2 Scénario 1 - Situation pessimiste / jour

Les résultats de ces scénarios sont montrés dans le tableau 7.4, les résultats moyens sont dans le tableau 7.5, les camemberts des résultats moyens (Victim_Exposed_Chart et Leader_Follower_Chart) sont la figure 7.10, 7.11.

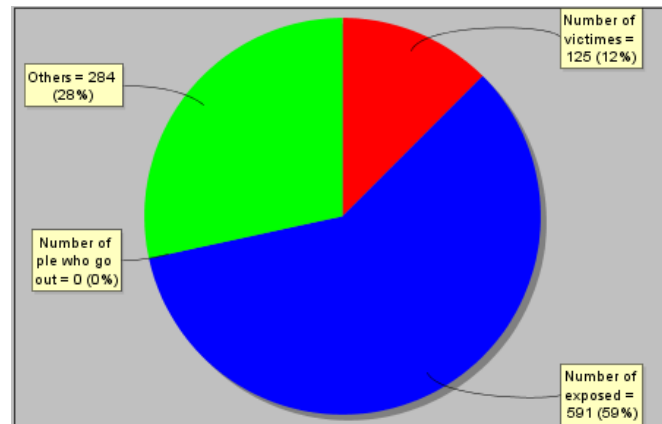


FIGURE 7.10: Camembert des résultats moyens du scénario 1 – Victim_Exposed_Chart.

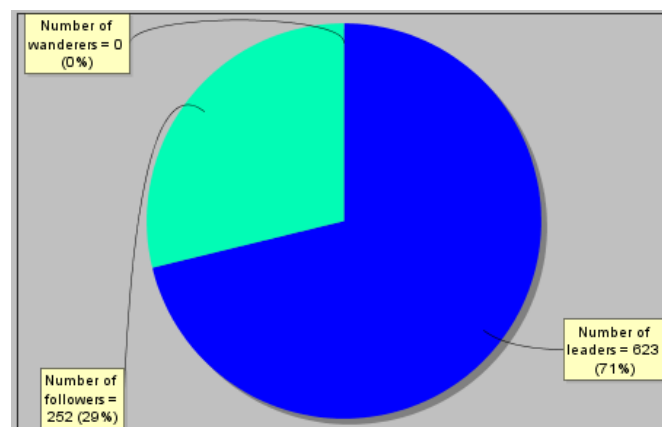


FIGURE 7.11: Camembert des résultats moyens du scénario 1 – Leader_Follower_Chart.

7.3.3 Scénario 2 - Situation pessimiste / nuit

Les résultats de ces scénarios sont montrés dans le tableau 7.6, les résultats moyens sont dans le tableau 7.7, les camemberts des résultats moyens (Victim_Exposed_Chart et Leader_Follower_Chart) sont la figure 7.12, 7.13.

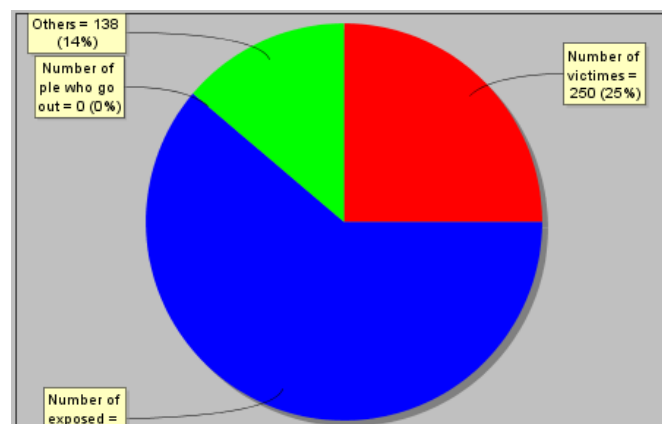


FIGURE 7.12: Camembert des résultats moyens du scénario 2 – Victim_Exposed_Chart.

Numéro de simulation	1	2	3	4	5
Temps d'évacuation (secondes)	2455	2586	2535	2543	2456
Nombre de victimes (personnes)	250	255	250	246	248
Nombre de personnes exposées (personnes)	609	621	601	612	616
Nombre de personnes qui sortent du quartier (personnes)	0	0	0	0	0
Nombre de personnes aux lieux sûrs dans le quartier (personnes)	142	124	149	142	136
Nombre de leaders	548	514	544	539	524
Nombre de suiveurs	202	231	206	215	228
Nombre de wanderers	0	0	0	0	0

TABLE 7.6: Tableau des résultats du scénario 2 (5 simulations)

Temps d'évacuation (secondes)	2515 (environ 42 minutes)
Nombre de victimes (personnes)	250
Nombre de personnes exposées (personnes)	612
Nombre de personnes qui sortent du quartier (personnes)	0
Nombre de personnes aux lieux sûrs dans le quartier (personnes)	138
Nombre de leaders	534
Nombre de suiveurs	216
Nombre de wanderers	0

TABLE 7.7: Tableau des résultats moyens du scénario 2

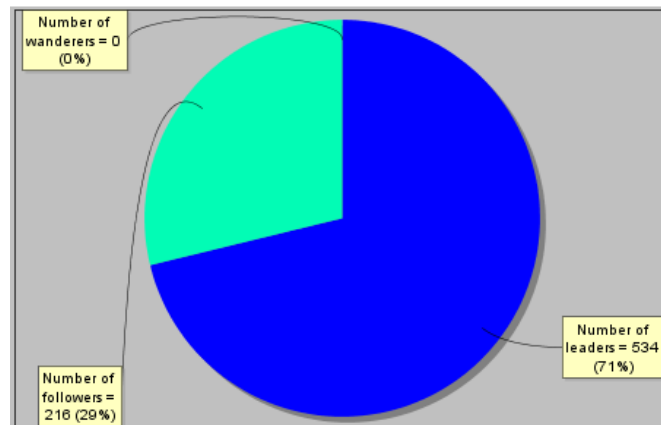


FIGURE 7.13: Camembert des résultats moyens du scénario 2 – Leader-Follower-Chart.

Numéro de simulation	1	2	3	4	5
Temps d'évacuation (secondes)	2810	2947	2537	2673	3172
Nombre de victimes (personnes)	163	142	142	132	143
Nombre de personnes exposées (personnes)	645	668	671	671	682
Nombre de personnes qui sortent du quartier (personnes)	0	0	0	0	0
Nombre de personnes aux lieux sûrs dans le quartier (personnes)	192	190	187	197	175
Nombre de leaders	598	587	601	597	622
Nombre de suiveurs	239	271	257	271	235
Nombre de wanderers	0	0	0	0	0

TABLE 7.8: Tableau des résultats du scénario 3 (5 simulations)

Temps d'évacuation (secondes)	2827.8 (environ 47 minutes)
Nombre de victimes (personnes)	144
Nombre de personnes exposées (personnes)	668
Nombre de personnes qui sortent du quartier (personnes)	0
Nombre de personnes aux lieux sûrs dans le quartier (personnes)	188
Nombre de leaders	601
Nombre de suiveurs	255
Nombre de wanderers	0

TABLE 7.9: Tableau des résultats moyens du scénario 3

7.3.4 Scénario 3 - Situation insuffisant/jour

Les résultats de ces scénarios sont montrés dans le tableau 7.8, les résultats moyens sont dans le tableau 7.9, les camemberts des résultats moyens (Victim_Exposed_Chart et Leader_Follower_Chart) sont la figure 7.14, 7.15.

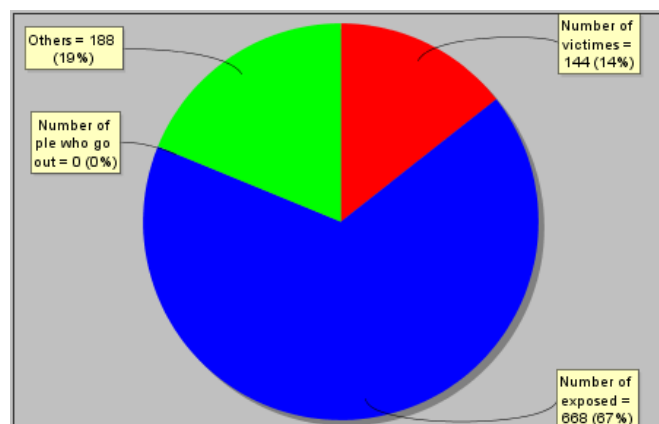


FIGURE 7.14: Camembert des résultats moyens du scénario 3 – Victim_Exposed_Chart.

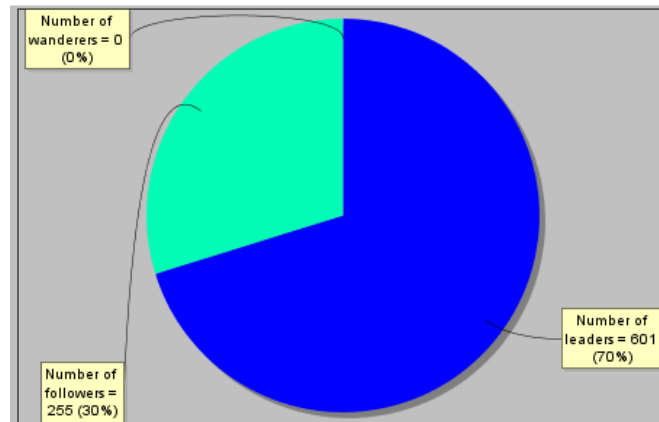


FIGURE 7.15: Camembert des résultats moyens du scénario 3 – Leader_Follower_Chart.

Numéro de simulation	1	2	3	4	5
Temps d'évacuation (secondes)	2915	2599	1988	2763	2767
Nombre de victimes (personnes)	253	251	166	241	253
Nombre de personnes exposées (personnes)	612	599	487	641	616
Nombre de personnes qui sortent du quartier (personnes)	0	0	0	0	0
Nombre de personnes aux lieux sûrs dans le quartier (personnes)	135	150	347	118	131
Nombre de leaders	535	543	573	525	543
Nombre de suiveurs	212	206	261	234	204
Nombre de wanderers	0	0	0	0	0

TABLE 7.10: Tableau des résultats du scénario 4 (5 simulations)

Temps d'évacuation (secondes)	2613.6 (environ 44 minutes)
Nombre de victimes (personnes)	233
Nombre de personnes exposées (personnes)	591
Nombre de personnes qui sortent du quartier (personnes)	0
Nombre de personnes aux lieux sûrs dans le quartier (personnes)	176
Nombre de leaders	544
Nombre de suiveurs	223
Nombre de wanderers	0

TABLE 7.11: Tableau des résultats moyens du scénario 4

7.3.5 Scénario 4 - Situation insuffisant/nuit

Les résultats de ces scénarios sont montrés dans le tableau 7.10, les résultats moyens sont dans le tableau 7.11, les camemberts des résultats moyens (Victim_Exposed_Chart et Leader_Follower_Chart) sont la figure 7.16, 7.17.

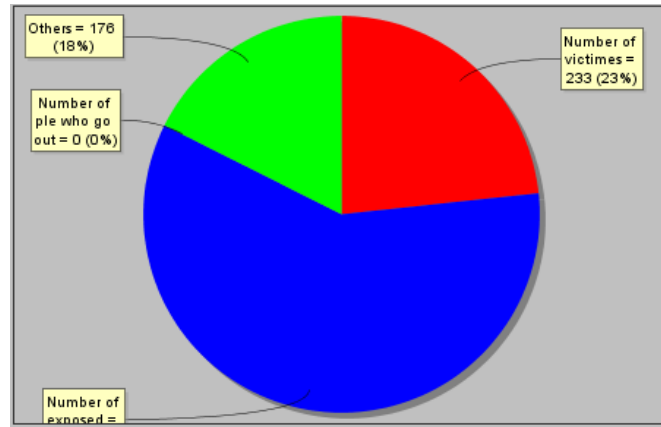


FIGURE 7.16: Camembert des résultats moyens du scénario 4 – Victim_Exposed_Chart.

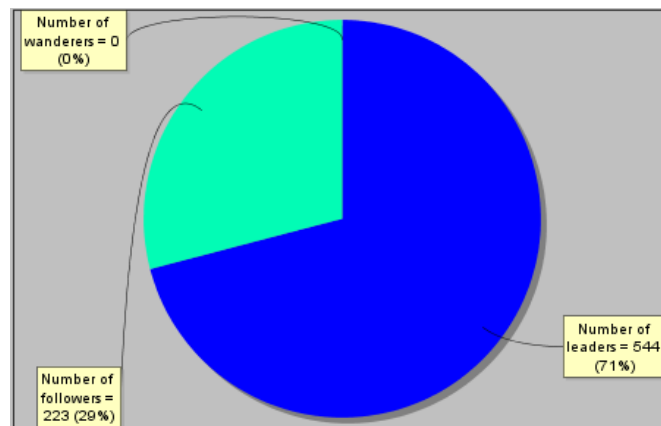


FIGURE 7.17: Camembert des résultats moyens du scénario 4 – Leader_Follower_Chart.

Numéro de simulation	1	2	3	4	5
Temps d'évacuation (secondes)	2565	2534	2670	2802	2635
Nombre de victimes (personnes)	95	97	114	85	92
Nombre de personnes exposées (personnes)	222	217	232	220	226
Nombre de personnes qui sortent du quartier (personnes)	117	119	99	108	110
Nombre de personnes aux lieux sûrs dans le quartier (personnes)	566	567	555	587	572

TABLE 7.12: Tableau des résultats du scénario 5 (5 simulations)

7.3.6 Scénario 5 - Situation optimiste 1

Les résultats de ces scénarios sont montrés dans le tableau 7.12, les résultats moyens sont dans le tableau 7.13, le camembert des résultats moyens est la figure 7.18.

Temps d'évacuation (secondes)	2641.2 (environ 44 minutes)
Nombre de victimes (personnes)	97
Nombre de personnes exposées (personnes)	223
Nombre de personnes qui sortent du quartier (personnes)	111
Nombre de personnes aux lieux sûrs dans le quartier (personnes)	569

TABLE 7.13: Tableau des résultats moyens du scénario 5

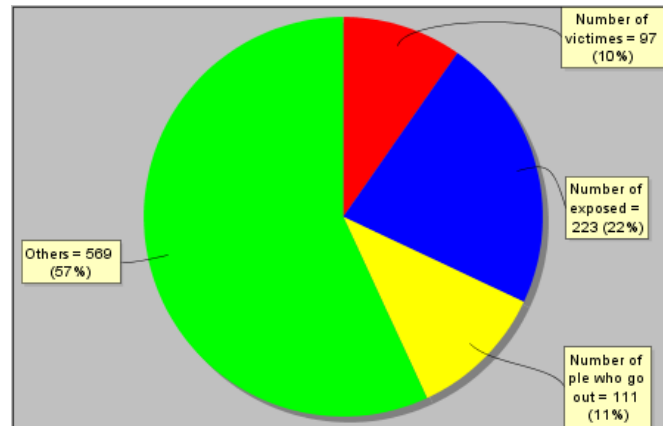


FIGURE 7.18: Camembert des résultats moyens du scénario 5 – Victim_Exposed_Chart.

Numéro de simulation	1	2	3	4	5
Temps d'évacuation (secondes)	2258	2421	1988	2192	2206
Nombre de victimes (personnes)	99	105	92	105	68
Nombre de personnes exposées (personnes)	121	113	129	116	118
Nombre de personnes qui sortent du quartier (personnes)	0	0	0	0	0
Nombre de personnes aux lieux sûrs dans le quartier (personnes)	780	782	779	779	814

TABLE 7.14: Tableau des résultats du scénario 6 (5 simulations)

7.3.7 Scénario 6 - Situation optimiste 2

Les résultats de ces scénarios sont montrés dans le tableau 7.14, les résultats moyens sont dans le tableau 7.15, le camembert des résultats moyens est la figure 7.19.

7.3.8 Scénario 7 - Situation optimiste 3

Les résultats de ces scénarios sont montrés dans le tableau 7.16, les résultats moyens sont dans le tableau 7.17, le camembert des résultats moyens est la figure 7.20.

Temps d'évacuation (secondes)	2213 (environ 37 minutes)
Nombre de victimes (personnes)	94
Nombre de personnes exposées (personnes)	119
Nombre de personnes qui sortent du quartier (personnes)	0
Nombre de personnes aux lieux sûrs dans le quartier (personnes)	787

TABLE 7.15: Tableau des résultats moyens du scénario 6

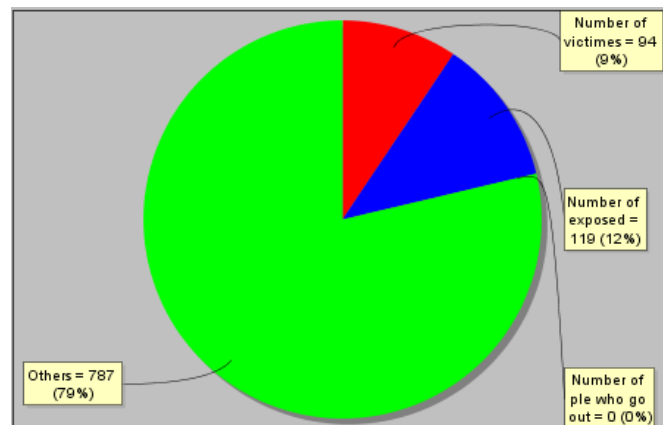


FIGURE 7.19: Camembert des résultats moyens du scénario 6 – Victim_Exposed_Chart.

Numéro de simulation	1	2	3	4	5
Temps d'évacuation (secondes)	2666	3039	3818	2679	2680
Nombre de victimes (personnes)	108	84	83	101	82
Nombre de personnes exposées (personnes)	366	374	395	358	384
Nombre de personnes qui sortent du quartier (personnes)	239	219	262	251	232
Nombre de personnes aux lieux sûrs dans le quartier (personnes)	287	323	260	290	302

TABLE 7.16: Tableau des résultats du scénario 7 (5 simulations)

Temps d'évacuation (secondes)	2976.4 (environ 50 minutes)
Nombre de victimes (personnes)	92
Nombre de personnes exposées (personnes)	375
Nombre de personnes qui sortent du quartier (personnes)	241
Nombre de personnes aux lieux sûrs dans le quartier (personnes)	292

TABLE 7.17: Tableau des résultats moyens du scénario 7

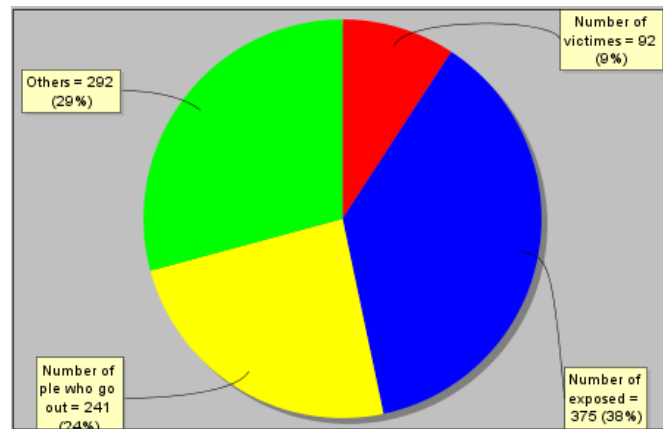


FIGURE 7.20: Camembert des résultats moyens du scénario 7 – Victim_Exposed_Chart.

Numéro de simulation	1	2	3	4	5
Temps d'évacuation (secondes)	2823	2724	3440	2612	2637
Nombre de victimes (personnes)	91	85	105	90	86
Nombre de personnes exposées (personnes)	172	179	146	128	164
Nombre de personnes qui sortent du quartier (personnes)	115	98	119	106	119
Nombre de personnes aux lieux sûrs dans le quartier (personnes)	622	638	630	676	631

TABLE 7.18: Tableau des résultats du scénario 8 (5 simulations)

Temps d'évacuation (secondes)	2847.2 (environ 47 minutes)
Nombre de victimes (personnes)	92
Nombre de personnes exposées (personnes)	158
Nombre de personnes qui sortent du quartier (personnes)	111
Nombre de personnes aux lieux sûrs dans le quartier (personnes)	639

TABLE 7.19: Tableau des résultats moyens du scénario 8

7.3.9 Scénario 8 - Situation optimiste 4

Les résultats de ces scénarios sont montrés dans le tableau 7.18, les résultats moyens sont dans le tableau 7.19, le camembert des résultats moyens est la figure 7.21.

7.4 Analyse des résultats

A travers les résultats des scénarios, on peut voir que le temps d'évacuation est de 37 à 50 minutes.

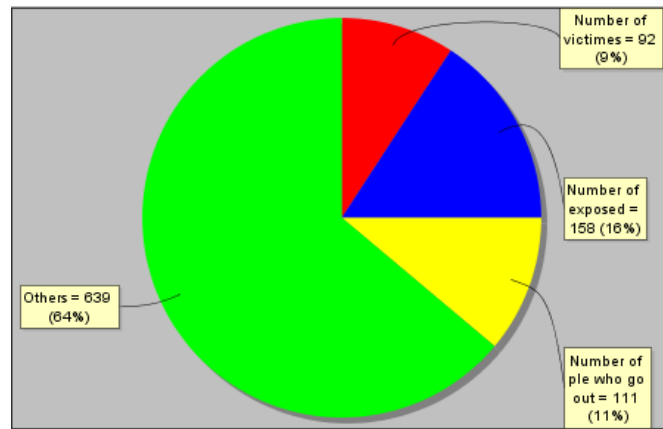


FIGURE 7.21: Camembert des résultats moyens du scénario 8 – Victim_Exposed_Chart.

Numéro de scénario	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Nombre de victimes (%)	23	12	25	14	23	10	9	9	9
Nombre de personnes exposées (%)	72	59	61	67	59	22	12	38	16
Nombre de personnes qui sortent du quartier (%)	1	0	0	0	0	11	0	24	11
Nombre de personnes aux lieux sûrs dans le quartier (%)	4	28	14	19	18	57	79	29	64

TABLE 7.20: Tableau des résultats moyens des scénarios

Tableau 7.20 montre les résultats moyens des scénarios.

Parmi les scénarios, le scénario de l'enquête (scénario 0) est le pire. En fait, la proportion de personnes dans lieux sûrs (à l'extérieur du quartier ou lieux vraiment sûrs dans le quartier) est 5% tandis que le taux de nombre de victimes est 23% et celui de nombre d'exposées est 72%. Ces chiffres ne changent pas beaucoup pendant la simulation (voir la forme du graphique dans la figure 7.22). La localisation de gens au moment de séisme et l'immobilité ont causé ce problème. Au moment de séisme, tout le monde est dans les bâtiments, il y a plus de gens dans des bâtiments endommagés, donc le taux de victimes est élevé. De plus, plus de moitié de gens n'adoptent pas de comportement de mobilité, ils restent sur place. Dans un quartier avec tels de bâtiments endommagés, il est évident que le nombre de personnes exposées au danger est très élevé. En outre, la plupart des agents sont exposés au danger pendant long temps, les cinq simulations ont la même forme de graphique comme celle dans la figure 7.23.

Deux scénarios de nuit (scénario 2 et 4) sont dans le même cas. Les résultats des scénarios de nuit sont moins bons que ceux de jour. Le nombre de victimes est très élevé (23% et 25%) car tout le monde est dans les bâtiments au moment de secousse. Le taux de

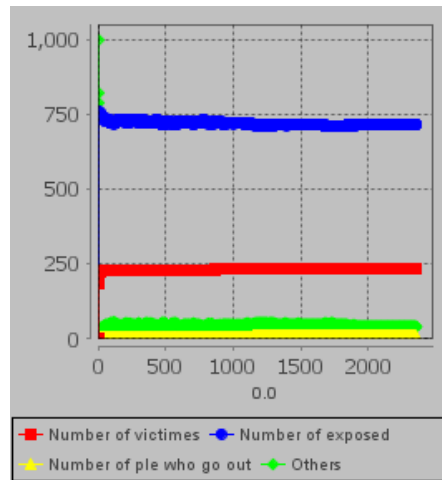


FIGURE 7.22: Victime_Exposed_Chart du scénario 0

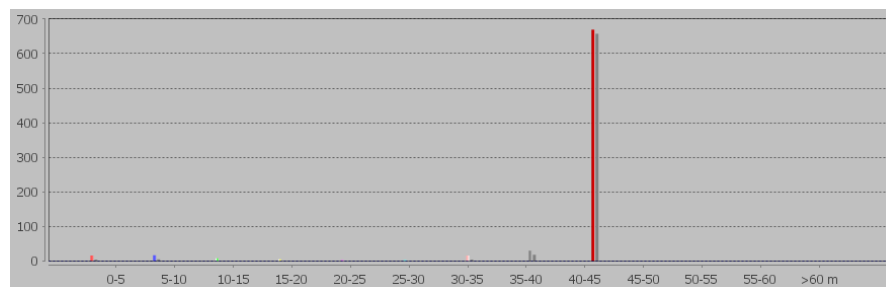


FIGURE 7.23: Exposition_Time_Chart du scénario 0

personnes exposées est aussi élevé (de 59% à 61%) même si les gens se déplacent. La raison est que la plupart des gens ne changent pas de leurs plannings mais continuent à se déplacer vers leurs destinations initiales (qui peuvent être endommagées) ou se déplacent vers des lieux endommagés. Ensuite, on voit encore une fois la plupart des agents exposés pendant long temps (plus de 40 minutes) (figure 7.24).

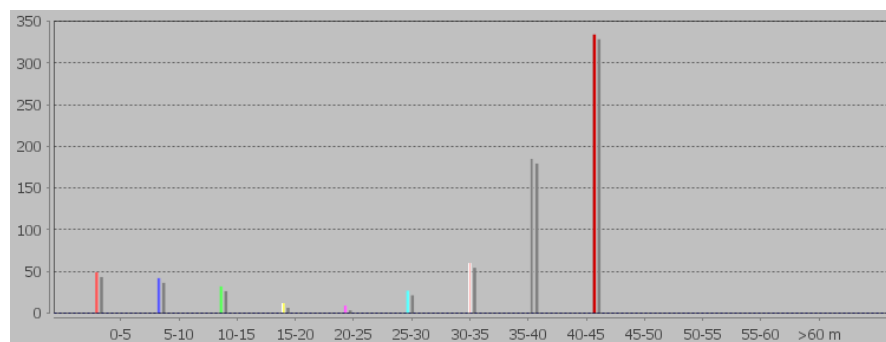


FIGURE 7.24: Exposition_Time_Chart du scénario 2

Dans deux scénarios de jour (scénario 1 et 3), le nombre de victimes est environ la moitié de celui dans deux scénarios de nuit 2 et 4 (12% et 14% contre 23% et 25%) car il y a moins de gens dans les bâtiments au début de la simulation. Pourtant, le nombre de

personnes exposées est aussi élevé (59% et 67%) car les gens ne changent pas de leurs plannings ou se déplacent vers des lieux endommagés. On peut voir dans la figure 7.25 la croissance du nombre de personnes exposées (la ligne bleue) et la décroissance du nombre de personnes dans les lieux sûrs (la ligne verte) au long d'une simulation. Ensuite, on voit aussi la plupart des agents exposés pendant long temps (plus de 40 minutes) (figure 7.26).

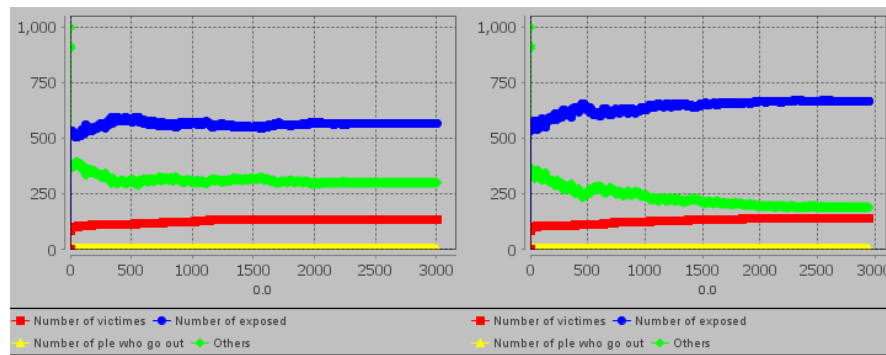


FIGURE 7.25: Exposition_Time_Chart du scénario 1 (à gauche) et scénario 3 (à droite)

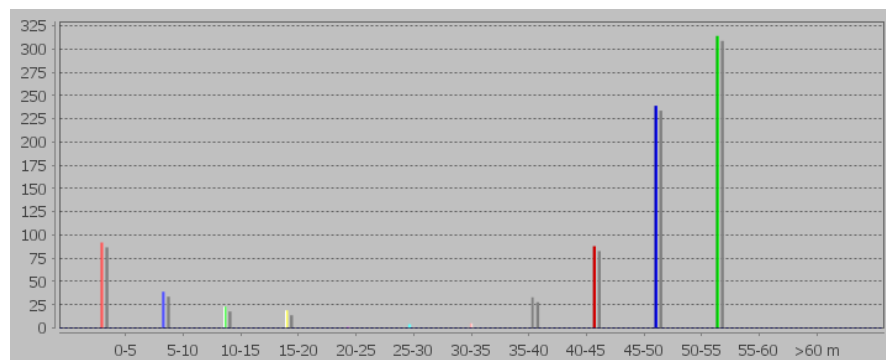


FIGURE 7.26: Exposition_Time_Chart du scénario 3

Les scénarios 5, 6, 7, 8 indiquent des situations optimistes, la différence entre des scénarios est la destination des agents. On peut voir que les résultats dans ces scénarios sont mieux par rapport aux scénarios de 0 à 4. En fait, le taux de victimes est de 9% à 10%, le taux de personnes exposées est de 12% à 38%. Regardons un des graphiques du Victim_Exposed_Chart (figure 7.27), on peut voir le clair changement du nombre de personnes exposées (la ligne bleue) et du nombre de personnes dans des lieux sûrs (la ligne verte). On peut voir aussi que la forme du Exposition_Time_Chart de ces scénarios (figure 7.28) est très différente avec celui des scénarios précédents. Le nombre de personnes exposées pendant une courte période de temps (moins de 20 minutes) sont plus nombreux que celui pendant une longue période (plus de 40 minutes). De plus, en comparaison entre des scénarios optimistes, le scénario 7 (tout le monde va dans les rues)

obtient le taux de personnes exposées un peu élevé (38%) à cause de beaucoup de rues endommagées.

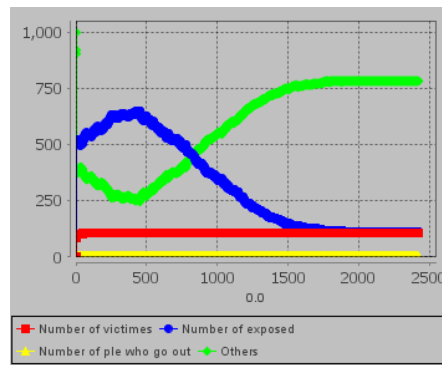


FIGURE 7.27: Victim.Exposed.Chart du scénario 5

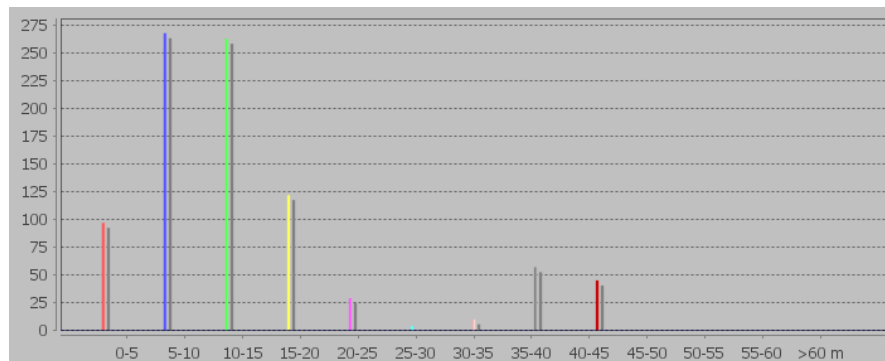


FIGURE 7.28: Exposition.Time.Chart du scénario 5

Dans tous les scénarios (avec la probabilité maximum de suiveurs est 30% dans les scénarios 1, 2, 3, 4), tous les suiveurs peuvent trouver un leader. L'influence des leaders dans ces scénarios n'est pas claire. En regardant les résultats de l'analyse de sensibilité (figure 7.2 et 7.8), on trouve que le paramètre de probabilité de suiveur n'influence pas de nombre de victimes ou personnes exposées pour le scénario examiné 1, si l'on change valeur de ce paramètre, le nombre de victimes ou personnes exposées ne change pas beaucoup car la façon de réaction commune des individus dans ce scénario est "ne pas changer d'activité initiale".

En résumé, la localisation des gens au moment du séisme affecte le nombre de victimes. Pour réduire le dommage humain, il faut que des gens adoptent un comportement de mobilité, y compris de changer leurs activités initiales pour aller aux lieux vraiment sûrs tels que l'espace vert, écoles, rescues,... et également progresser dans la sécurité des bâtiments. Le comportement d'aller dans les rues n'est pas suffisant, cela est montré par le taux de personnes exposées un peu élevé dans le scénario 7.

Chapitre 8

Validation

Comme vu dans la méthodologie, la validation est mise au cœur de la méthodologie pour affiner, corriger le modèle et le code si nécessaire. On a une stratégie pour faire validation : validation pour chaque ajout dans le modèle et validation pour le modèle global. Pour tous les deux parties, l'échange des idées entre développeur et des experts (Ludvina Colbeau-Justin, psychosociologue et chercheur du projet LIBRIS, Elise Beck et Stéphane Cartier, chercheurs du projet LIBRIS, des experts libanais et des concepteurs de GAMA) est très important.

Premièrement, le modèle est développé progressivement. Chaque nouvelle brique ajoutée au modèle est testé individuellement à chaque phase (Consultation les conseils des experts, Conception du modèle et Développement). Si cette brique n'est pas convenable ou très complexe à développer, on peut le changer ou trouver une autre façon à développer. Prenons un exemple d'obstacles (grand, moyen, et petit). Si un agent entre dans la zone d'un obstacle, il est probablement mort à cause des débris tombés selon le niveau de danger de cet obstacle, y compris grand, moyen ou petit. Après avoir consulté les conseils des experts, on a obtenu le taux d'endommagement humain pour un grand obstacle est de 60 à 100% (un agent qui entre dans cette zone a la probabilité de 60 à 100% d'être mort), celui pour moyen obstacle est de 30 à 60% et celui pour petit obstacle est de 0 à 30%. Pourtant, après avoir implémenté cet ajout, on a trouvé que la plupart des agents étaient morts. Le problème est qu'il y a beaucoup d'obstacles, les uns enchevauchent les autres. Donc, le nombre de morts augmente de plus en plus. On a consulté encore des experts pour trouver une solution réalisable. En fait, le souci dans cette modélisation est

le manque de données généralisables et celui de données d'observations des effets d'un séisme et des comportements adoptés, ceux qui sont peu documentés dans la littérature scientifique. Enfin, on applique seulement ces taux pour les grands obstacles, les moyens obstacles ne ralentissent que les agents et ceux qui sont dans les zones des moyens et petits obstacles sont exposés.

Deuxièmement, le modèle est de plus en plus complexe. Il faut donc comprendre l'impact des nouvelles ajouts sur le modèle global. En détail, on veut savoir si les résultats du modèle (des graphiques sur le nombre de victimes, de personnes exposées...) sont réalistes. Pour ce faire, on demande d'aide aux experts qui ont collecté les données et ceux qui ont une expérience réelle des tremblements de terre. En ce moment, on attend encore la réponse des experts pour certaines questions.

Conclusions et perspectives

8.1 Résumé

On a développé le modèle à base d'agents pour simuler le mouvement des marcheurs après le séisme. Des marcheurs sont modélisés et simulés comme des agents qui se déplacent vers leurs destinations ou restent sur place. Ils ont des comportements tels que mouvement, perception des obstacles et imitation (suivre leader). En général, un agent peut observer des objets (obstacles, bâtiments, autres agents) autour de lui. Il obtient une connaissance des rues incomplète, il met à jour des rues bloquées qu'il a rencontrées pour les éviter à venir. Autrement dit, son trajet (de sa localisation initiale à sa destination) est mis à jour lorsqu'il se déplace. L'impact des agents Obstacle sur des agents Humain est assez simple (provoquer le décès, les ralentir, les faire exposer). Le comportement d'imitation est simple et dans la première période de développement.

Neuf scénarios sont créés pour voir l'impact du comportement humain sur le décès et l'exposition. Parmi eux, il y a un scénario qui reproduit les comportements extraits de l'enquête et il y a sept scénarios fictifs qui représentent des situations différentes correspondant aux comportements différents des individus. Selon les résultats des simulations, on a donc des idées initiales qui servent à construire des campagnes d'information convenables. En effet, il faut que les gens adoptent les comportements de secours comme aller vers des lieux vraiment sûrs tels que l'espace vert, secours... Le comportement d'aller dans les rues n'est pas suffisant.

8.2 Difficultés rencontrées

A côté des résultats obtenus, j'ai rencontré des difficultés pendant le travail. Premièrement, j'ai dû faire face à la lente vitesse de simulation. Une simulation avec 1000 agents qui dure environ 2 heures avec mon ordinateur de 2 Go de mémoire vive. J'ai totalement fait 45 simulations pour les scénarios (9 scénarios et 5 simulations chaque scénario) et 365 simulations pour l'analyse de sensibilité. Donc, faire des expérimentations est un gros travail (au moins 820 heures de simulation) et équilibrer entre la vitesse de simulation et la complexité dans les comportements des agents est un problème à résoudre. Deuxièmement, à côté des données de l'enquête, on a besoin des informations réelles dans plusieurs domaines. Pourtant, on manque des informations pour construire le modèle le plus réaliste possible telle que la formation des tas de débris, précisément les hauteurs des obstacles, la relation entre des caractéristiques humaines (âge, sexe, profession) et perception du risque, la relation entre perception du risque et changement d'activité.

8.3 Perspectives

Je constitue une première étape dans le processus de modélisation et simulation d'une situation post-sismique. A venir, on peut améliorer des comportements existants des agents, surtout pour l'agent Humain. Par exemple, agents peuvent partager des informations dans leurs groupes (leader et suiveurs). De plus, on peut ajouter autres comportements tels que rejoindre un membre de famille. Si l'on obtient suffisamment des informations réelles, on pourra implémenter la relation entre âge, sexe, profession, intensité de séisme, moment de séisme (pendant la journée ou pendant la nuit) et perception du risque et changement d'activité, il s'agit d'implémenter la période de pré-évacuation. Par exemple, quelle est la différence dans la perception du risque entre des personnes âgées et des jeunes, des personnes qui travaillent et des chômeurs, des hommes et des femmes. . . Pour l'agent Obstacle, on peut le rendre plus complexe, par exemple on peut implémenter l'impact de sa hauteur sur le mouvement des agents Humain et le taux d'endommagement humain si l'on obtient des informations solides à partir des données d'observations. Ainsi, des scénarios plus complexes seront créés (par exemple : 70% des agents vont aux lieux non sûrs, le reste se déplacent vers des lieux sûrs). Enfin, on peut augmenter l'efficacité de simulation, y compris réduire le temps de simulation. Une idée

est d'appliquer un modèle hybrid macro-micro comme [15]. De plus, utiliser des matériels plus puissants peut aussi nous aider à réduire le temps de simulation.

Annexe A

Questionnaire de l'enquête

Source : enquête réalisée dans le cadre du projet ANR LIBRIS

Perception du risque sismique

1. Concernant ce bâtiment/votre logement, qu'est ce qui vous apparait le plus important ? Une réponse possible

- a. Le confort qu'il procure
- b. Son apparence esthétique
- c. Sa proximité avec mon travail, ma famille, des commerces...
- d. Sa mise en location et son rapport

2. Pensez vous que Beyrouth puisse un jour subir un séisme important/fort ?

- a. Oui
- b. Non
- c. Je n'en sais rien

3. Quelles conséquences pourrait-il causer ?

.....

Identification des comportements de protection

4. Que faut-il faire pour se protéger au moment où un séisme arrive ?

.....

a. Ne sais pas

5. Que faut-il faire pour se protéger d'un séisme avant qu'il n'arrive ?

.....

a. Ne sais pas

6. Qu'est ce qu'il ne faut pas faire pendant le tremblement de terre ?

.....

a. Ne sais pas

Expériences sismiques

7. Avez vous déjà ressenti un tremblement de terre ?

a. Oui

b. Non : si non, passer question 29.

8. Quand ? (si plusieurs, indiquez le plus marquant)

9. Au moment du séisme, où vous trouviez-vous ?

a. Chez moi, dans ce même bâtiment

b. Chez moi, dans un autre bâtiment

c. Au travail

d. Dans un lieu familier : lequel :

e. Dans lieu non familier : lequel :

10. A quel niveau (étage) vous trouviez-vous au moment des secousses ?

11. Que faisiez-vous à ce moment-là ?

a. Je dormais

b. j'étais allongé(e) mais éveillé(e)

c. j'étais assis(e)

d. j'étais debout

e. Autre :

.....

12. Ces secousses vous ont semblé :

a. Faibles

b. Modérées

c. Fortes

d. Très fortes

13. Avez-vous été paniqué ?

a. Oui

b. Non

14. Au bout de combien de temps avez-vous réalisé qu'il s'agissait d'un séisme ?

a. Tout de suite

b. Après la fin des secousses

c. Plus tard, lorsqu'on me l'a dit

15. Qu'avez-vous fait au moment même des secousses ? Donner une seule réponse

Vous... :

a. êtes resté figé

b. avez tenté de sortir

c. vous êtes protégé la tête

d. n'avez rien fait de particulier

e. vous êtes abrité sous un meuble, porte, etc.

f. avez prié

g. avez protégé quelqu'un

h. êtes vous éloigné des objets pouvant tomber

i. Autre :

16. Qu'avez-vous fait juste après les secousses ? Choisir une seule réponse.

a. Repris une activité normale

b. Regardé les dégâts

c. Sorti du bâtiment par l'escalier

d. Sorti du bâtiment par l'ascenseur

e. Écouté la radio

f. Coupé le gaz

g. Coupé l'électricité

h. Téléphoné

i. Autre :

17. Combien de temps après la secousse ?

18. Avez-vous cherché à rejoindre un lieu ?

a. Oui

b. Non

19. Lequel ?

20. Par quel moyen ?

21. Combien de temps après la secousse ?

22. Avez-vous cherché à retrouver quelqu'un ?

a. Oui

b. Non. Si non, passer à la question 26.

23. Combien de temps après les secousses ?

24. Par quel moyen ?

25. Avez-vous craint qu'un autre séisme (réplique) se produise juste après ?

a. Oui

b. Non

26. Vous sentez-vous en sécurité maintenant ?

a. Oui

b. Non

27. Selon vous quelle est la cause des séismes ressentis ?

Tectonique

Humaine

Divine

Autre

28. Depuis ce séisme, avez-vous fait quelque chose pour mieux vous préparer ?

Passer à la question 40

29. Imaginons un scénario : Si vous n'avez jamais vécu de séisme, imaginez que vous êtes chez vous, dans la journée. C'est la semaine. Tout d'un coup, l'immeuble bouge, les objets s'entrechoquent, le lustre balance, certains objets tombent. Vous réalisez que c'est un tremblement de terre. Que faites-vous au moment des secousses ? Donner une seule réponse

a. Vous restez figé

b. Vous cherchez à sortir

c. vous abritez sous un meuble, porte, etc.

d. Vous vous protégez la tête

- e. Vous priez
 - f. Vous cherchez à protéger quelqu'un.
 - g. Vous ne faites rien de particulier
 - h. Vous vous éloignez des objets pouvant tomber
 - i. Vous faites autre chose. Quoi ? :
 - j. Ne sait pas.
30. Si vous ne savez pas, sur qui pourriez-vous compter pour vous guider ?
31. Que faites vous juste après les secousses ? Choisir une seule réponse.
- a. Vous reprenez une activité normale
 - b. Vous regardez les dégâts
 - c. Vous sortez du bâtiment
 - d. Vous écoutez la radio
 - e. Vous coupez le gaz
 - f. Vous téléphonez
 - g. Vous coupez l'électricité
 - h. Autre :
 - i. ne sait pas
32. Combien de temps après ?
33. Chercherez-vous à rejoindre un lieu ?
34. Lequel ?
35. Par quel moyen ?
36. Combien de temps après la secousse ?
37. Chercherez-vous à retrouver quelqu'un ?

38. Combien de temps après la secousse ?

39. Par quel moyen ?

40. Selon vous, quelle est l'origine des séismes ?

a. Tectonique

b. Humaine

c. Divine

d. Autre :

Connaissance et disponibilité des ressources

41. Pensez-vous que le bâtiment où vous vivez est solide.

a. Oui

b. Non

c. Ne sait pas

42. D'après vous, peut-on prévoir les séismes ?

43. Pensez-vous que l'on peut se protéger contre les séismes ?

a. Oui

b. non

c. Ne sais pas

44. Comment ?

45. Pensez-vous que la question des séismes est prise en charge par les autorités ?

a. Oui

b. Non

c. Ne sais pas

46. Que faudrait-il faire pour que Beyrouth, ou vous-même soyez prêts à affronter un séisme ?

.....

a. Ne sait pas

Besoins de préparation et d'information

47. Souhaiteriez-vous participer à des réunions entre voisins avec un expert pour vous préparer en cas de séisme ?

a. Oui

b. Non

48. Dans ce cas, quelles seraient les personnes ou organisation qui devraient être présentes ?

.....

49. Pour quelles raisons (efficacité, confiance) ?

50. Quelle serait votre priorité pour vous protéger, vous et vos proches ? donner une seule réponse

a. S'informer sur ce qu'est un séisme

b. Habiter dans un immeuble sûr

c. Aménager le logement

d. Connaître les consignes

e. Préparer une trousse d'urgence (radio, bougie, nourriture, médicaments, etc)

f. Suivre une formation de premiers secours

g. S'organiser en famille ou entre voisins

h. Aucune

i. Autre :

51. Habituellement, qui vous informe sur les dangers vous menaçant ? Plusieurs réponses possibles.

51a. La mairie

51b. Les FSI

51c. Le gouvernement

51d. L'armée

51e. Les responsables religieux

51f. Les voisins

51g. Les scientifiques

51h. Les journalistes

51i. L'école

51j. Autre :

52. Eventuellement, par quel(s) moyen(s) souhaiteriez vous vous préparer et vous informer pour affronter un futur séisme ?

52a. Emissions télévisées

52b. Brochures d'information

52c. Affichage public

52d. Emissions radios

52e. Conférences

52f. Articles de presse

52g. Stand d'information permanent

52h. Site Internet

52i. Exercices

52j. Discussions entre voisins

52k. SMS

52l. Tweeter

52m. Autre :

53. Qui doit, pour vous, communiquer en cas de crise ?

54. Avez-vous confiance dans ce que disent :

54.1. Le gouvernement a.oui b. Non c. Je ne sais pas

54.2. La mairie a.oui b. Non c. Je ne sais pas

54.3. La défense civile a.oui b. Non c. Je ne sais pas

54.4. L'armée a.oui b. Non c. Je ne sais pas

54.5. Les FSI a.oui b. Non c. Je ne sais pas

54.6. Les scientifiques a.oui b. Non c. Je ne sais pas

54.7. Les journalistes a.oui b. Non c. Je ne sais pas

55. Avez-vous vécu des bombardements ?

a. Oui

b. Non

56. Si oui, quel âge aviez-vous ?

57. Si oui, comment avez-vous réagi à la destruction des bâtiments ?

.....

58. Quel âge avez-vous :

59. Genre

a. Femme

b. Homme

60. Profession(s) :

61. Etes-vous :

a. propriétaire

b. locataire

c. occupant non payant

62. Appartenance religieuse

63. Depuis quand habitez-vous ici ?.....

64. Quel est votre niveau d'études ?.....

65. De combien de personnes est composé votre foyer

66. Combien d'enfants vivent dans le logement ?.....

67. A quel étage vivez-vous ? (le Rez de chaussée est identifié comme 1er étage)

Pour vérification : Nom de la personne

Numéro de téléphone.....

Bibliographie

- [1] Eric Bonabeau. Agent-based modeling : Methods and techniques for simulating human systems. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 99(3) :7280–7287, May 2002.
- [2] Elise Beck, Ludvina Colbeau-Justin, Stéphane Cartier, and Maud Saikali. Comportements de mobilité en cas de crise sismique a beyrouth (liban). *8eme Colloque National AFPS 2011 - Ecole des Ponts ParisTech*, 2011.
- [3] C.Solberg, T.Rossetto, and H.Joffe. The social psychology of seismic hazard adjustment : re-evaluating the international literature. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, pages 1663–1677, 2010.
- [4] Paule-Annick Davoine, Elise Beck, Isabelle André-Poyaud, Sonia Chardonnel, Céline Lutoff, and Anton Telechev. Géovisualisation pour la réduction de la vulnérabilité socio-spatiale en milieu urbain. *Comité Français de Cartographie*, 211 :69–84, March 2012.
- [5] Linda B. Bourque, Lisa A.Russell, and James D.Goltz. Human behavior during and immediately after the earthquake. *The Loma Prieta, California, Earthquake of October 17, 1989 - Public Response*, 1993.
- [6] Matteo Gismondi and Otto Huisman. Spatio-temporal behaviour after an earthquake a case study of kawaguchi town, japan. *Disaster Prevention and Management*, 21, 2012.
- [7] Kohei Arai and Tran Xuan Sang. Decision making and emergency communication system in rescue simulation for people with disabilities. *International Journal of Advanced Research in Artificial Intelligence*, 2(3), 2013.

- [8] N. Bellamine-Ben Saoud, T. Ben Mena, J. Dugdale, B. Pavard, and M. Ben Ahmed. Assessing large scale emergency rescue plans : an agent based approach. *International Journal of Intelligent Control and Systems*, 11(4) :260–271, 2006.
- [9] Yozo Goto, Muzailin Affan, Agussabti, Yudha Nurdin, Diyah K.Yuliana, and Aradiansyah. Tsunami evacuation simulation for disaster education and city planning. *Journal of Disaster Research*, 7(1), 2012.
- [10] Robocup Rescue Agents Simulation Project. URL <http://www.robocuprescue.org/agentsim.html>.
- [11] Thanh-Quang Chu, Alexis Drogoul, Alain Boucher, and Jean-Daniel Zucker. Interactive learning of independent experts’ criteria for rescue simulations. *Journal of Universal Computer Science*, 15(13) :2701–2725, 2009.
- [12] T. Katada, N. Kuwasawa, H. Yeh, and C. Pancake. Integrated simulation of tsunami hazards. *EERI’s Eighth U.S. National Conference on Earthquake Engineering (8NCEE)*, (1727), 2006.
- [13] Gregor Lammel, Marcel Rieser, and Kai Nagel. Large scale microscopic evacuation simulation. *Pedestrian and Evacuation Dynamics 2008*, 2010.
- [14] T. Katada, M.Fujiu, M.Ohara, and K.Onomura. Development of traffic simulation for tsunami evacuation - case study for kesennuma city. *Eastern Asia Society for Transportation Studies*, 9, 2013.
- [15] Thi Anh Ngoc Nguyen, Jean-Daniel Zucker, Nguyen Huu Du, Alexis Drogoul, and Duc-An Vo. A hybrid macro-micro pedestrians evacuation model to speed up simulation in road networks. *AAMAS Workshops*, 7068 :371–383, 2011.
- [16] Nuria Pelechano and Norman I. Badler. Modeling crowd and trained leader behavior during building evacuation. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 26(6) :80–86, 2006.
- [17] Glenn I. Hawe, Duncan T. Wilso, Graham Coates, and Roger S. Crouch. Stormi : An agent-based simulation environment for evaluating responses to major incidents in the uk. *9th International ISCRAM Conference – Vancouver, Canada*, April 2012.
- [18] Jason Tsai, Natalie Fridman, Emma Bowring, Matthew Brown, Shira Epstein, Gal Kaminka, Stacy C. Marsella, Andrew Ogden, Inbal Rika, Ankur Sheel, Matthew

- Taylor, Xuezhi Wang, Avishay Zilka, and Milind Tambe. ESCAPES - evacuation simulation with children, authorities, parents, emotions, and social comparison. *International Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems (AAMAS)*, May 2011.
- [19] Hong Van Truong, Elise Beck, Julie Dugdale, and Carole Adam. Developing a model of evacuation after an earthquake in lebanon. *ISCRAM Vietnam 2013*, 2013.
- [20] Edouard Amouroux, Thanh-Quang Chu, Alain Boucher, and Alexis Drogoul. Gama : An environment for implementing and running spatially explicit multi-agent simulations. *PRIMA*, 5044 :359–371, 2007.
- [21] GAMA platform. URL <http://code.google.com/p/gama-platform/>.
- [22] Patrick Taillandier, Vo Duc An, Edouard Amouroux, and Alexis Drogoul. Gama : bringing gis and multi-level capabilities to multi-agent simulation. *The 8th European Workshop on Multi-Agent Systems (EUMAS), Paris, France*, 2010.
- [23] Saltelli A., K. Chan, and E.M. Scott. Sensitivity analysis. *John Wiley and Sons, Ltds*, 2000.