

Simulation et optimisation d'une évacuation d'urgence

Les fréquents tests d'évacuation nocturnes de mon internat m'ont poussée à m'intéresser aux mouvements de foule en situation d'évacuation. La conception d'une simulation numérique est alors apparue comme un moyen de comprendre ces mouvements et de tester différents plans d'évacuation.

À cause de la croissance démographique, les villes sont de plus en plus confrontées à des trafics routiers ou piétonniers surchargés. Régir ces flux devient un enjeu majeur, d'autant plus qu'ils peuvent conduire à des accidents. Ici, nous nous intéressons à ces flux dans le cas d'une évacuation.

Positionnement thématique (ÉTAPE 2) :

- *INFORMATIQUE (Informatique pratique)*
- *INFORMATIQUE (Informatique Théorique)*
- *MATHEMATIQUES (Analyse)*

Mots-clés (ÉTAPE 1) :

Mots-clés (en français) Mots-clés (en anglais)

<i>Évacuation</i>	<i>Evacuation</i>
<i>Mouvements de foule</i>	<i>Crowd motion</i>
<i>Simulation</i>	<i>Simulation</i>
<i>Graphe</i>	<i>Graph</i>
<i>Recherche de chemin</i>	<i>Pathfinding</i>

Bibliographie commentée

Afin de construire un modèle pertinent et fiable, de nombreux facteurs environnementaux doivent être pris en compte : l'architecture du bâtiment, le nombre de sorties, l'indication des sorties d'urgence, les contraintes liées au feu, la représentation macroscopique ou microscopique des individus, et discrète ou continue de l'espace [4]. Dans le cas d'une évacuation au sein d'un étage constitué de nombreux couloirs, la structure de graphe non orienté et pondéré semble raisonnable [2]. Un couloir sera représenté par une arête tandis qu'une intersection de couloirs sera représentée par un sommet. En outre, notre carte sera constituée d'un ensemble de cellules carrées, ayant des coordonnées selon des axes (Ox) et (Oy). Cette implémentation permettra une gestion optimale des individus qui pourront se déplacer de façon continue dans l'espace.

Par ailleurs, les facteurs anthropologiques comme les comportements humains liés à la panique, la perception, le temps de réaction, la connaissance des lieux, et le degré d'organisation varient selon l'environnement [3, 6]. Il sera difficile de les prendre en considération, alors nous devons

les inclure dans la vitesse de marche.

Outre cela, l'évacuation en urgence est caractérisée les congestions. Cette densité des flux est un facteur contraignant, ralentissant l'évacuation et influençant les comportements humains : la vitesse moyenne de marche et le débit moyen chutent drastiquement lorsque la densité de personnes augmente [4]. De plus, la vitesse de marche varie selon le sexe, l'âge ou l'origine. Néanmoins, il est important de noter que les travaux sur l'évacuation d'immeubles de *Melinek* et *Booth* en 1975 les ont conduits à faire ce constat : les disparités de capacités physiques entre individus n'influencent guère les configurations de congestion [3]. C'est pourquoi nous pouvons simplifier notre modèle, et considérer des individus égaux.

Mais alors, comment déterminer des plans d'évacuation ?

D'après le paradoxe de *Braess*, ajouter un obstacle au sein d'un environnement accélère le processus d'évacuation [1]. Ce paradoxe énonce également que, lors d'un trafic routier, si chaque individu emprunte la voie qui lui paraît le plus favorable, le temps de trajet résultant ne sera pas plus faible. Ce paradoxe a été observé le Jour de la Terre en 1990 à New York [6]. En cette occasion, la 42e rue a été fermée. Alors qu'elle est habituellement congestionnée, les new-yorkais n'ont pas observé d'embouteillages. À partir de cela, nous pouvons nous demander si ce deuxième énoncé serait applicable à l'évacuation d'urgence. Si le nombre de sorties augmente, est-ce que le nombre de personnes sauvées augmentera lui aussi ?

Augmenter le nombre de sorties accroît également le nombre de chemins possibles. Ainsi, il faut implémenter des algorithmes de recherche de chemin. Pour cela, deux algorithmes existent : l'algorithme de *Dijkstra* et l'algorithme A^* [5]. Le premier permet de déterminer le chemin le plus court dans un graphe pondéré. Le deuxième est une extension du premier : au lieu d'utiliser les poids des arêtes, il pratique une évaluation heuristique pour estimer le chemin restant entre le sommet actuel et le sommet final. Dans l'optique d'obtenir une complexité temporelle correcte, A^* sera un meilleur candidat puisque l'algorithme de *Dijkstra* explore l'ensemble des possibilités.

Problématique retenue

En prenant en compte l'ensemble de ces facteurs, **comment créer une modélisation fidèle à la réalité afin de déterminer les plans d'évacuation les plus efficaces lors d'une évacuation ?**

Objectifs du TIPE du candidat

1. Proposer un modèle mathématique en accord avec des situations réelles d'évacuation.
2. Mettre en place ce modèle par une simulation, à l'aide du langage de programmation *OCaml*.
3. Modifier l'environnement afin de montrer le paradoxe de *Braess*.
4. Implémenter l'algorithme A^* puis programmer plusieurs heuristiques.
5. Conclure sur les plans d'évacuations les plus efficaces.

Références bibliographiques (ÉTAPE 1)

- [1] THERESA THUNIG, KAI NAGEL : Braess's Paradox in an Agent-based Transport Model : <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S187705091630223X>
- [2] JULIETTE VENEL : Modélisation mathématique et numérique des mouvements de foule : <https://theses.hal.science/tel-00346035>
- [3] CONSTANTIN THEOS : Modélisation du mouvement des personnes lors de l'évacuation d'un bâtiment à la suite d'un sinistre. Sciences de la Terre. : <https://pastel.archives-ouvertes.fr/tel-00523176>
- [4] THOMAS GASPAROTTO : Modélisation de l'évacuation des personnes en situation d'incendie : <https://www.theses.fr/2018LORR0128>
- [5] WIKIPÉDIA : Recherche de chemin : https://fr.wikipedia.org/wiki/Recherche_de_chemin
- [6] GINA KOLATA : What if They Closed 42d Street and Nobody Noticed? : <https://www.nytimesn7cgmftshazwhfgzm37qxb44r64ytbb2dj3x62d2lljsciyyd.onion/1990/12/25/health/what-if-they-closed-42d-street-and-nobody-noticed.html>

DOT

- [1] : *En Septembre, études documentaires des problématiques liées à l'évacuation.*
- [2] : *En Octobre, première élaboration d'un modèle numérique simple.*
- [3] : *En Décembre, abandon de ce modèle numérique qui n'illustre pas les problèmes qui occurrent durant un évacuation.*
- [4] : *En Janvier, construction d'un modèle mathématique et reprise de l'élaboration de la simulation.*
- [5] : *En Avril, recherche de différentes configurations pour tester le modèle numérique.*
- [6] : *Mi-Mai, collecte des données et conclusions finales.*
- [7] : *Fin-Mai, prise en main de Latex et de Beamer, puis finalisation de la présentation.*