

# Étude et modélisation de l'évacuation d'urgence d'une salle par une foule de piétons

Les mouvements de foule de grande ampleur sont parfois chaotiques et déroutants. Les invraisemblances que provoque l'évacuation d'urgence d'une foule ont alors attisé ma curiosité. En me basant sur différents modèles théoriques, j'ai choisi d'axer mon travail sur la modélisation informatique, favorisant une meilleure visualisation du phénomène.

Les déplacements chaotiques et tumultueux ainsi causés par ces situations d'évacuation sont, chaque année, sources de nombreux accidents à travers le monde. Une telle dynamique collective est dictée selon des mécanismes souvent difficiles à appréhender et son étude relève donc, de nos jours, d'un véritable enjeu sociétal.

## Positionnement thématique (ETAPE 1)

*INFORMATIQUE (Informatique pratique), MATHEMATIQUES (Mathématiques Appliquées).*

### Mots-clés (ETAPE 1)

| Mots-Clés (en français)     | Mots-Clés (en anglais)      |
|-----------------------------|-----------------------------|
| <i>Foule</i>                | <i>Crowd</i>                |
| <i>Automate cellulaire</i>  | <i>Cellular automaton</i>   |
| <i>Trafic piétonnier</i>    | <i>Pedestrian traffic</i>   |
| <i>Bousculade</i>           | <i>Stampede</i>             |
| <i>Évacuation d'urgence</i> | <i>Emergency evacuation</i> |

## Bibliographie commentée

Au cours des dernières décennies, les mouvements de foule sont devenus presque communs dans nos vies, et conduisent parfois à de graves incidents. Ainsi, l'évacuation d'une salle représente un excellent exemple, à la fois concret et complexe, de phénomène de foule.

Le point de départ consiste à classifier les différentes interactions entre piétons dans une foule. La thèse de Mehdi Moussaïd [1] introduit alors plusieurs grands types d'interactions : l'évitement, l'imitation, les bousculades et les interactions indirectes. Pour prendre en compte ces interactions entre piétons, il est alors essentiel de proposer un modèle macroscopique de la foule. Le premier modèle ainsi étudié a été proposé par le physicien Tamás Vicsek et il est présenté dans l'ouvrage [1]. Il pose les bases des interactions d'imitations dans un mouvement de foule.

L'évacuation d'une salle constitue ainsi un problème complexe qu'il est possible de modéliser de différentes façons.

La première d'entre elles repose sur le modèle des **automates cellulaires**. Ce dernier consiste à discrétiser notre espace d'étude en une multitude de cases au sol puis à considérer les déplacements des piétons uniquement vers les cases voisines (haut, gauche, droite, bas). Ce modèle est développé

dans de nombreux articles scientifiques traitant du sujet, et de ce fait, dans les trois thèses étudiées qui sont celles de Mehdi Moussaïd, Juliette Venel et Samuel Lemerrier [1][2][3].

Il est alors judicieux de construire un modèle de **probabilités de déplacement** pour chaque piéton en fonction de sa position dans la salle et de sa capacité à imiter les autres. Le modèle retenu ici est celui présenté dans l'article d'Andreas Schadschneider et Armin Seyfried [4] et repris dans l'ouvrage [2]. On peut alors commencer à élaborer un code de programmation par les automates cellulaires.

Deux points de vue sont ainsi retenus pour modéliser les déplacements dans un automate cellulaire. Soit le déplacement s'effectue individu par individu, mettant en avant une certaine volonté individuelle, soit on effectue un déplacement global des positions [2][3]. Ces deux approches donnent des résultats différents qui, avec des interprétations raisonnables, apportent de réelles avancées dans notre compréhension globale du phénomène.

Les automates cellulaires nous donnent ainsi une bonne première idée des facteurs et enjeux qui caractérisent un tel mouvement de foule. Cependant, ils ne suffisent pas pour représenter et modéliser certains paramètres pourtant présents dans de nombreuses expériences comme le sont les forces d'interactions entre individus, le stress, la densité de la foule ainsi que les nombreux chocs qui accompagnent une bousculade. Les ouvrages [1] et [3] évoquent alors ces interactions à travers un modèle nommé **forces sociales**. Chaque individu verra ainsi son déplacement être grandement influencé par celui des autres. Et l'article [5] présente, en ce sens, une modélisation d'une évacuation d'urgence dans un modèle où l'espace est continu. Il peut alors être avantageux de programmer notre propre simulation selon cette approche-ci, en considérant chaque individu comme un cercle mouvant possédant un objectif, une capacité à pousser les autres, et une vitesse qui lui est propre. Cette approche permettra, notamment, de mettre en évidence le réseau de forces qui apparaît à la sortie de la salle.

Le *Granular Media Laboratory* de l'université de Navarre a réalisé de nombreuses expériences et j'ai pu exploiter l'une d'elles pour mener à bien mon étude. Avec ce support, on comprend que la conceptualisation d'une solution adaptée et optimisée pour une sortie rapide est complexe. L'article [6] ainsi que nos précédentes modélisations révèle alors la nécessité d'étudier les parcours des personnes quittant en dernier la salle.

Enfin, l'article [4] nous éclaire aussi sur la mise en évidence d'une vitesse optimale de sortie reposant sur différentes variables qui sont propres à chaque foule. Cette analyse permet d'élaborer une solution d'évacuation optimale.

## **Problématique retenue**

Quels sont les différents facteurs qui régissent une foule lors d'une évacuation ? De quelles manières

l'outil informatique peut-il nous permettre d'améliorer notre compréhension de ces mécanismes et d'anticiper certaines situations inopportunes ?

## Objectifs du TIPE

L'objectif principal de ce TIPE est de proposer quelques modélisations informatiques d'une foule de piétons traversant un rétrécissement.

L'étude de cette situation nous amène à considérer divers modèles mathématiques dont il faudra évaluer la pertinence.

L'objectif sera alors de modéliser numériquement, avec le langage de programmation Python, l'évacuation d'une salle par deux approches bien distinctes :

- Une approche par automates cellulaires
- Une approche par une combinaison de forces entre individus dans un espace continu

## Références bibliographiques (ETAPE 1)

- [1] MEHDI MOUSSAÏD : Étude expérimentale et modélisation des déplacements collectifs de piétons : [http://thesesups.ups-tlse.fr/1118/1/Mehdi\\_Moussaid.pdf](http://thesesups.ups-tlse.fr/1118/1/Mehdi_Moussaid.pdf)
- [2] JULIETTE VENEL : Modélisation mathématique et numérique de mouvements de foule : <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00346035/document>
- [3] SAMUEL LEMERCIER : Simulation du comportement de suivi dans une foule de piétons à travers l'expérience, l'analyse et la modélisation : [https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00724072/file/LEMERCIER\\_Samuel.pdf](https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00724072/file/LEMERCIER_Samuel.pdf)
- [4] ANDREAS SCHADSCHNEIDER, ARMIN SEYFRIED : Empirical results for pedestrian dynamics and their implications for cellular automata models : <https://arxiv.org/pdf/1007.4058.pdf>
- [5] BERTRAND MAURY : Modélisation de mouvements de foules : <https://images.math.cnrs.fr/Modelisation-de-mouvements-de-foules>
- [6] M. MOUSSAÏD, M. KAPADIA, T. THRASH, R. SUMNER, M. GROSS, D. HELBING, C. HÖLSCHER : Crowd behaviour during high-stress evacuations in an immersive virtual environment : <https://royalsocietypublishing.org/doi/pdf/10.1098/rsif.2016.0414>

## DOT

- [1] *Septembre - Octobre 2020 : Choix du sujet et découverte des documents [1] et [2] qui m'encouragent à poursuivre mes investigations.*
- [2] *Novembre - Décembre 2020 : Recherche d'articles scientifiques en lien avec le sujet. Je décide de me concentrer sur l'étude du cas particulier de l'évacuation d'une salle en présence d'un rétrécissement.*
- [3] *Janvier 2021 : Découverte de l'article [5] dont les modélisations informatiques m'ont fasciné. Choix des différentes problématiques qui se prêtent à une programmation en Python.*
- [4] *Février 2021 : Implémentation des deux algorithmes utilisant les automates cellulaires sur Python. Je découvre en parallèle d'autres articles présentant diverses thématiques sur les*

*mouvements de foules.*

**[5]** *Mars - Avril 2021 : Début de l'implémentation du modèle de déplacement continu prenant en compte les forces sociales.*

**[6]** *Mai 2021 : Finalisation de l'implémentation du modèle de déplacement continu. La tâche a été ardue et le temps d'implémentation a finalement été assez important.*

**[7]** *Juin 2021 : Travail sur la mise en forme du travail et sur la présentation.*