

# Résolution de problèmes multicritères (durée/sécurité) pour la conception de plans d'évacuation de personnes : Énumération du front de Pareto

Ismaila Abderhamane NDIAYE<sup>1</sup>, Emmanuel NERON<sup>1</sup>

Université François-Rabelais de Tours, LI EA 6300, OC ERL CNRS 6305, Tours, France  
{ismaila.ndiaye , emmanuel.neron}@univ-tours.fr

**Mots-clés** : *réseau dynamique, évacuation, transbordement, modèle macroscopique, multicritère, durée, sécurité, routage*

## 1 Description du problème

Depuis les années 90, les problèmes d'évacuation d'infrastructures telles que les avions, les tunnels, les bateaux, les bâtiments et les stades ont largement été étudiés dans la littérature [4]. De manière générale, il faut router (i.e. acheminer) un certain nombre d'individus depuis différents points de départ vers des points d'arrivée potentiels sachant que ces derniers ont une capacité limitée d'accueil.

Aussi, ce routage s'effectue à travers un réseau dynamique dont l'une des premières modélisations a été proposée par Ford et Fulkerson en 1962 [3] à l'aide d'un graphe étendu dans le temps. Les sommets de ce graphe sont des intersections ou des points d'intérêt alors que les arcs, quant à eux, peuvent être vus comme des couloirs ou des routes ayant des attributs (temps de traversée, capacité, sécurité,...) et reliant deux emplacements adjacents de l'infrastructure étudiée.

De manière classique, l'objectif de ces problèmes d'évacuation est la minimisation de la durée de ce routage mais sans prendre en compte des notions comme le risque encouru par les personnes dont il faut organiser le déplacement des points dangereux vers les zones sûres. Afin de résoudre ces problèmes, trois types d'approches sont généralement utilisées : les modèles macroscopiques, microscopiques et mésoscopiques (voir [4, 5, 1]).

Dans le cadre des approches macroscopiques multicritères, nous avons déjà étudié et proposé une méthode de résolution lexicographique afin de résoudre les problèmes d'évacuation avec prise en compte des critères de durée et de sécurité (voir [6]). Toutefois, cette approche lexicographique n'admet pas de modifications afin d'avoir une énumération directe du front de Pareto.

En outre, au-delà de difficulté de calculer un plan d'évacuation monocritère maximisant le nombre de personnes indemnes à chaque instant (voir [2]), il est facile de montrer que les critères de durée et de sécurité sont conflictuels (i.e. faire faire des détours aux personnes évacuées afin d'éviter des zones dangereuses). L'exemple présenté par la figure 1 montre un problème d'évacuation où une personne doit être évacuée d'un sommet source  $S$  vers un sommet puits  $P$ . Entre ces sommets source et puits, nous avons un ensemble de  $N = 4$  sommets communs à traverser. Entre deux sommets consécutifs, nous avons deux chemins possibles ayant chacun une durée de trajet, une capacité ainsi qu'un niveau de sécurité. Dans le cadre du problème multicritère, nous cherchons à minimiser la durée d'évacuation (critère additif) et à maximiser la sécurité (critère multiplicatif). Cet exemple permet de montrer que le nombre de solutions non dominées est potentiellement exponentiel (i.e.  $2^{N+1}$  solutions pour cet exemple).

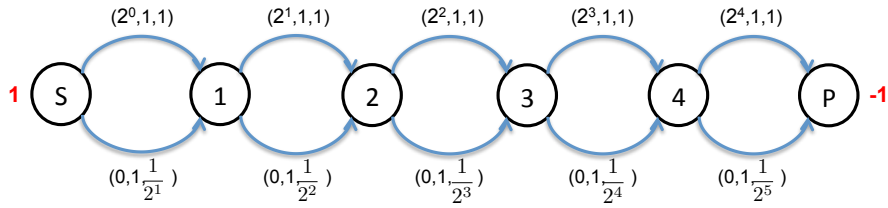


FIG. 1 – Nombre exponentiel de solutions

## 2 Contribution

Notre contribution portera sur trois points :

- Nous présentons dans un premier temps une méthode exacte permettant d'énumérer le front de Pareto.
- Par la suite nous présentons un ensemble de méthodes heuristiques nous permettant étendre notre approche lexicographique [6] afin de pouvoir maximiser le nombre de personnes indemnes, mais aussi d'énumérer les solutions du front de Pareto.
- Enfin, nous évaluons nos méthodes de résolution avec des scénarios-catastrophes de type tremblement de terre impactant la ville de Nice.

## Références

- [1] Borrmann, A. et al. *Bidirectional coupling of macroscopic and microscopic pedestrian evacuation models*. Saf Sci 50(8) :1695-1703 (Evacuation and Pedestrian Dynamics), 2012.
- [2] Disser, Y. and Skutella, M. *The simplex algorithm is np-mighty*. In : Proceedings of the Twenty-Sixth Annual ACM-SIAM Symposium on Discrete Algorithms, pages 858-872. SIAM, 2015.
- [3] Ford, L. and Fulkerson, D. R. *Flows in networks*. Volume 1962. Princeton University Press, 1962.
- [4] Hamacher, H. W. and Tjandra, S. A. *Mathematical modeling of evacuation problems : A state of the art*. In Schreckenberg, M. et Sharma, S. D., editors : Pedestrian and Evacuation Dynamics, pages 227-266. Springer Verlag, 2002.
- [5] Klüpfel, H. et al. *Microscopic simulation of evacuation processes on passenger ships*. In : Bandini S, Worsch T (eds) Theory and practical issues on cellular automata. Springer, London, pages 63-71, 2001.
- [6] Ndiaye, I. A. and Néron, E. and Jouglet, A. *Macroscopic evacuation plans for natural disasters*. OR Spectrum (2016). doi :10.1007/s00291-016-0451-1, 2016.