

L'ESSENTIEL

> La principale difficulté, quand on s'intéresse aux mouvements de foule, réside dans le caractère imprévisible des individus qui la composent.

> Néanmoins, dans certaines situations comme l'évacuation d'une salle par une sortie de secours, les modélisations fonctionnent plutôt bien.

> L'intégration à ces modèles de facteurs psychologiques dynamiques est encore balbutiante, mais le domaine est en pleine ébullition.

> Par ailleurs, avec l'accroissement des données sur les foules, l'approche par intelligence artificielle devient une autre piste prometteuse.

LES AUTEURS



BERTRAND MAURY
professeur au Département de mathématiques et applications de l'École normale supérieure (PSL Université), à Paris



SYLVAIN FAURE
ingénieur de recherche du CNRS au laboratoire de mathématiques d'Orsay



La foule en équations

Imaginez que chaque individu d'une foule soit un pion sur un échiquier, ou encore que la foule soit une goutte qui dévale une montagne le plus vite possible. En s'appuyant sur de telles analogies, des physiciens et mathématiciens ont conçu des modèles de foules performants pour décrire l'évacuation d'un bâtiment ou le transit de passagers dans une gare.



En juillet 2013, un lâcher de taureaux à Pampelune lors des fêtes de San Fermin a mal tourné à cause d'un mouvement de foule mal canalisé.

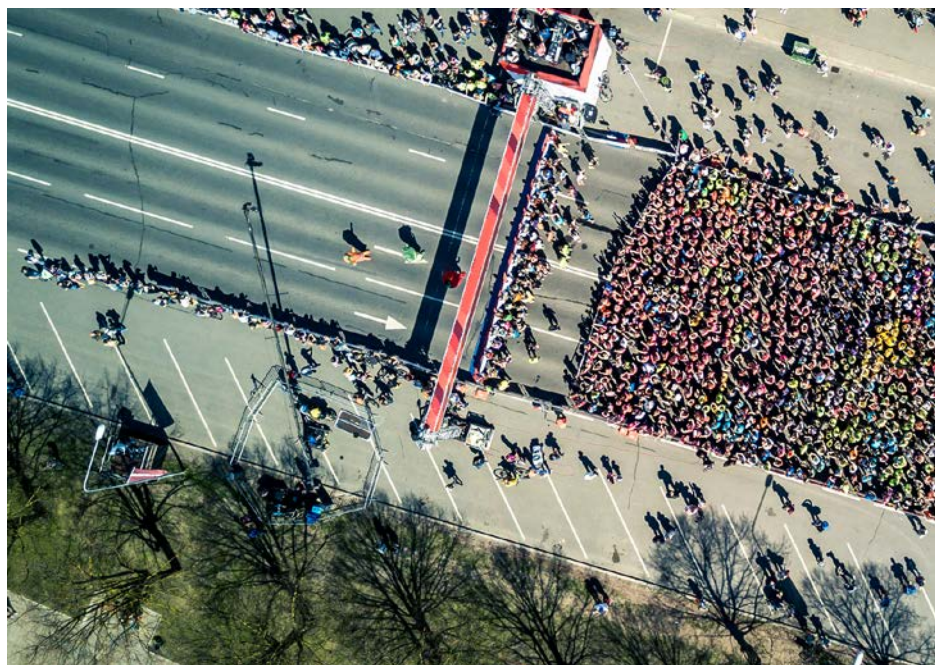
Pampelune, 13 juillet 2013. Comme tous les jours pendant les fêtes de San Fermin, la journée commence par un lâcher de taureaux à travers la ville. Des coureurs volontaires précèdent les animaux, qui avancent à vive allure. Le parcours s'étale sur un petit kilomètre et finit aux arènes, où les taureaux seront combattus. Ce jour-là, cependant, un bouchon humain se forme brusquement devant l'accès aux arènes, piégeant des dizaines de personnes au fond de la ruelle qui y mène. Malgré un accès large de quelques mètres, les acteurs involontaires de ce drame se retrouvent si inextricablement imbriqués que tout effort pour forcer le passage semble contribuer à solidifier l'assemblage apparu spontanément. Bilan : 23 blessés, dont certains gravement.

Il arrive malheureusement aussi que de tels mouvements de foule liés à un goulot d'étranglement soient meurtriers, comme ceux qui se sont produits à l'entrée du pont Djamarat, à La Mecque, encore en 2015, ou sur un pont de Phnom Penh, au Cambodge, en 2010, ou encore à la Love Parade de Duisbourg, en Allemagne, la même année.

Ces dernières décennies, en grande partie pour mieux comprendre ces événements et les éviter, pour assurer la sécurité des personnes dans les lieux fermés (faciliter, par exemple, l'évacuation rapide des bâtiments) et ouverts, comme La Mecque, ou lors de manifestations sportives, culturelles ou politiques, l'étude et la modélisation des foules se sont considérablement développées. Pour appréhender cette matière active très particulière, physiciens, mathématiciens, informaticiens, sociologues, psychologues et éthologues travaillent de concert. Et ces efforts commencent à porter leurs fruits. Aujourd'hui, la modélisation des mouvements de foule intervient dans de nombreux domaines : conception de bâtiments, anticipation de fortes congestions dans les lieux recevant du public, calculs prédictifs de temps d'attente, et jusqu'à la création de scènes virtuelles dynamiques dans les jeux vidéo, les films et les séries.

DES PARTICULES AUX PIÉTONS

Vue de haut, une foule ressemble à un amas de petits grains. Il est alors tentant de considérer les personnes comme un système de particules, surtout quand on est mathématicien ou physicien. En effet, pendant des siècles, les scientifiques ont cherché à comprendre et prédire le mouvement de particules, et les progrès dans le domaine ont été considérables. Le déclic a été la formalisation, au XVII^e siècle, des lois de la mécanique classique par Isaac Newton. Grâce à ces lois très générales, on sait écrire l'équation qui donne



Le départ d'un marathon s'effectue en plusieurs fois. Chaque cohorte de coureurs s'avance à son tour sur la ligne, comme le ferait de l'eau dans un robinet que l'on ouvre et ferme par intermittence.

la position au cours du temps d'une particule soumise à des forces extérieures, ou encore les équations d'un système de particules en interaction, qu'il s'agisse de minuscules grains solides à peine visibles ou de planètes en interaction gravitationnelle.

Certes, les systèmes obtenus à partir de ces lois sont parfois d'une complexité telle qu'il est très difficile de les utiliser pour prédire avec précision le mouvement d'une collection importante de particules. Mais cette difficulté ne remet pas en question la validité des lois de Newton, que l'on utilise ainsi dans de nombreux domaines. Par exemple, ce sont ces mêmes lois fondamentales qui donnent les équations régissant le mouvement de fluides comme l'eau ou l'air. Là encore, ces équations décrivent une réalité extrêmement complexe

La foule serait une goutte dévalant une colline suivant la ligne de plus grande pente