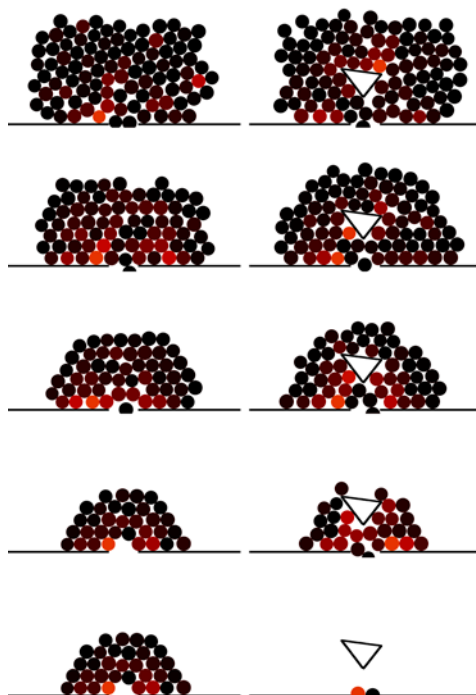


« FASTER IS SLOWER » ET INVERSEMENT

Quand une foule se presse vers une sortie, les contraintes sont telles à l'abord de l'ouverture que l'évacuation ralentit, ou même se bloque (voir la séquence à gauche, effectuée en utilisant le modèle granulaire, où plus une bille est rouge, plus elle subit de pression de ses voisines) – un effet connu sous le nom de *faster is slower*. En revanche, lorsque l'on place un obstacle devant la sortie, l'écoulement est bien plus efficace (à droite).



granulaire – qui reproduisent chacun ce phénomène paradoxal tout en étant fondés sur des ingrédients très différents. Cet exemple illustre une difficulté essentielle de la démarche de modélisation en général: il ne suffit pas de reproduire un effet pour être certain d'en avoir identifié les causes...

Ces dernières années, la science encore jeune de la modélisation des mouvements de foule a connu des succès spectaculaires et s'étend peu à peu à toutes sortes de domaines. Le modèle de forces sociales est intégré à des logiciels commerciaux utilisés par exemple pour modéliser les flux de touristes sous la tour Eiffel ou le mouvement des passagers dans les grands centres de transit. Il est aussi de plus en plus fréquent que la conception d'un projet architectural s'accompagne de la simulation des flux piétonniers à travers des espaces non encore construits. L'utilisation de ces modèles pour obtenir un rendu plus réaliste des mouvements de personnages de films ou de jeux vidéo s'est par ailleurs généralisée: les scènes de bataille du *Seigneur des Anneaux* et de *Game of Thrones*, par exemple, impliquant un nombre considérable d'entités dotées de capacités cognitives proches des nôtres, ont été réalisées à l'aide de modèles particuliers de foules.

Remarquons que, dans tous les exemples cités, les tendances spontanées des individus étaient assez simples à décrire, soit prévisibles dans le cas de l'évacuation d'un bâtiment ou du transit de passagers dans une gare, soit issues d'un scénario préétabli pour les films d'animation. Dans des situations plus générales, qui mélangent des individus aux tendances multiples et aux modalités d'interaction complexes,

les modèles actuels présentent des limites et les défis à relever sont nombreux.

En premier lieu, l'intégration à ces modèles de facteurs psychologiques dynamiques reste balbutiante. Un pétard qui explose au sein d'une foule dense peut entraîner un mouvement de panique qu'il est très difficile d'appréhender à l'heure actuelle. La notion même de panique à l'échelle d'un individu n'est pas clairement définie, son apparition et son évolution variant très fortement d'un individu à l'autre et les modalités de sa propagation au sein d'une foule dense étant mal connues. À partir des modèles, il est certes possible de reproduire *a posteriori* un mouvement de panique qui a été filmé, mais élaborer un modèle général de mouvement qui prédirait ce qui se passerait pour un large spectre de situations de ce type est actuellement hors de portée.

DU PIÉTON À LA THÉORIE DES JEUX

En second lieu, l'interaction des individus avec un milieu potentiellement hostile nécessite de coupler ces modèles avec d'autres variables, par exemple un niveau de visibilité conditionné par la présence de fumée en cas d'incendie. Enfin, la capacité de chacun à développer des stratégies fines d'évitement et d'optimisation des trajectoires, sans même en avoir conscience, est délicate à mettre en équations. Chaque individu élabore, pour les secondes à venir, un projet de trajectoire fondé sur son intuition de ce que les autres piétons feront. Le comportement effectif résulte donc d'un processus de négociation plus ou moins conscient, dont certains aspects relèvent de la théorie des jeux: le gain consécutif à un choix de stratégie dépend des choix des autres. Il est à prévoir que les travaux déjà entamés vers l'élaboration de modèles intégrant ces aspects se multiplieront ces prochaines années et permettront d'affiner le caractère prédictif des modélisations.

Par ailleurs, l'accroissement récent et considérable de la masse de données que l'on acquiert sur les mouvements de personnes (voir l'encadré page ci-contre) ouvre la voie à d'autres approches de modélisation, non plus fondées sur la formalisation de phénomènes bien identifiés, mais pilotées par les données. Malgré le caractère un peu frustrant pour le scientifique de s'éloigner d'une logique phénoménologique et causale, ces approches naissantes, fondées sur des techniques d'apprentissage profond, ont un potentiel prédictif considérable et devraient bouleverser prochainement ce domaine déjà en pleine ébullition. Dans les années à venir, il n'est pas exclu que se généralise comme nous en avons pris l'habitude pour le trafic routier, une « météo des foules » qui nous donnerait des indications sur le niveau de congestion attendu zone par zone, à l'échelle d'une ville. ■

BIBLIOGRAPHIE

M. Moussaïd, **Foulescopie : Ce que la foule dit de nous**, HumenSciences, 2019.

N. Bain et D. Bartolo, **Dynamic response and hydrodynamics of polarized crowds**, Science, vol. 363, pp. 46-49, 2019.

B. Maury et S. Faure, **Crowds in Equations**, World Scientific Publishing Europe Ltd., 2018.

D. Helbing et P. Molnár, **Social force model for pedestrian dynamics**, Phys. Rev E, vol. 51, pp. 4282-4286, 1995.

Un petit pas qui a 50 ans

L'anniversaire de la mission *Apollo 11* est l'occasion de revenir sur cet exploit que l'on pensait quasi impossible à l'époque. Avec l'émergence de nouveaux projets, nous pourrions revivre une aventure similaire dans les années à venir.





L'AUTEURE



CLARA MOSKOWITZ
cheffe des rubriques
physique et espace
au magazine
Scientific American

▶ L'empreinte de la botte de Buzz Aldrin s'est imprimée de façon très nette dans la poudre qui recouvre le sol lunaire.



Neil Armstrong salue le photographe tandis qu'il se dirige, avec ses coéquipiers, vers le pas de tir.

George Low, responsable du programme des missions Apollo, suit avec ses collègues la progression des astronautes depuis la salle de contrôle des opérations.



Neil Armstrong pensait qu'il avait une chance sur deux d'aller au bout de cette mission. « Il y avait tellement d'inconnues, » a expliqué, en 2011, le premier homme à poser le pied sur la Lune. « La probabilité était forte qu'un événement que nous n'avions pas anticipé survienne, ce qui nous aurait obligés à annuler la mission et à rentrer sur Terre sans nous poser sur la Lune. » Malgré ces incertitudes, Neil Armstrong, Edwin « Buzz » Aldrin et Michael Collins – avec l'aide de milliers d'ingénieurs, scientifiques et opérateurs sur Terre – ont accompli l'un des exploits les plus incroyables de l'humanité.

Il y a tout juste 50 ans, avec à son bord les trois astronautes, une fusée *Saturn V*, haute

comme 36 étages et pesant le poids d'environ 400 éléphants, s'est propulsée loin de la Terre dans une explosion plus puissante que la production de 85 grands barrages hydrauliques.

Une fois dans l'espace, les astronautes ont échappé à l'orbite terrestre pour rejoindre celle de la Lune. Ils ont alors décroché une partie de leur vaisseau et l'ont dirigée vers le sol lunaire, où ils ont atterri en douceur. Peut-être plus impressionnant, après avoir marché sur ce monde étranger, ils sont remontés dans le module lunaire et ont décollé de la surface de cet autre corps céleste (également une première) pour rejoindre le module principal qui les attendait en orbite, 90 kilomètres au-dessus de leurs têtes. Puis ils sont rentrés sur Terre, en terminant leur voyage par un plongeon dans les eaux de l'océan Pacifique.

© Nasa, Getty Images (salle de contrôle), Alamy (lancement)

