

> modéliser ses mouvements à l'aide de la dynamique des fluides. Cette analogie fonctionnait très bien... tant que la foule était très dense.

À quelle densité ne fonctionne-t-elle plus ?

La limite n'est pas claire, mais on peut faire un découpage grossier : à très forte densité, une foule se comporte comme un fluide. À une densité intermédiaire, ce n'est plus aussi simple. Cependant, dans les années 1990, Dirk Helbing a proposé une autre analogie, où les piétons sont des particules. Avec les fluides, le cadre théorique était celui de l'hydrodynamique. Avec les particules, c'est la mécanique newtonienne, où l'on attribue des forces de répulsion aux individus pour décrire le système (voir l'article page 32). Et quand on descend encore en densité, le modèle particulaire marche à son tour beaucoup moins bien. Il faut alors un autre cadre théorique : les sciences comportementales, principalement la psychologie et l'éthologie humaine. C'est ce que j'ai montré durant mon doctorat : dans un cadre quotidien, le modèle des piétons-particules n'a pas vraiment de sens. Il faut plutôt regarder comment les gens se comportent. C'est d'ailleurs fascinant qu'il faille ainsi passer d'une discipline à l'autre pour étudier les foules, et que cela ne dépende que de l'augmentation d'un paramètre, la densité. Au laboratoire, nous essayons justement de caractériser ces transitions et les comportements des foules dans les différents régimes.

Comment étudie-t-on le comportement d'une foule, concrètement ?

On a surtout parlé de théorie, mais la partie observationnelle est aussi très importante. On procède de deux façons. D'une part, dans la rue, en « milieu naturel ». C'est ce que j'ai beaucoup fait pendant ma thèse : on part avec une caméra et un trépied et on cherche un endroit très fréquenté, on se positionne un peu en hauteur et on filme les passants, puis, de retour au laboratoire, on suit le déplacement des gens et on regarde si les modèles reproduisent ces observations. D'autre part, on organise des expériences, certes plus artificielles, mais avec un bien meilleur contrôle sur ce qui se passe. On commence par se poser une question. Par exemple, comment se structurent deux flux de piétons qui se déplacent en sens opposé ? Et on conçoit une expérience pour y répondre. En l'occurrence, nous avons construit un couloir circulaire (cela nous permettait de maintenir les flux de piétons sans avoir à en rajouter) où nous avons placé des groupes de 30, 50 ou 60 participants. À chaque fois, une moitié avait pour instruction de tourner dans un sens, l'autre dans l'autre sens, tout en étant mélangées. Au départ, la foule était complètement désorganisée, mais après une vingtaine de secondes, elle s'autoorganisait spontanément :

une « autoroute de piétons » apparaissait, caractérisée par le fait que tous les gens qui allaient dans un même sens occupaient une moitié de l'espace disponible, tandis que l'autre moitié était réservée au sens opposé. Comme si la foule avait décidé de se partager l'espace. On peut y voir une forme d'intelligence collective : cette organisation a émergé par simples interactions successives, sans même que les gens ne s'en rendent compte, et a conduit à un bien meilleur trafic piétonnier.

Les participants privilégiaient-ils un côté ?

Oui, ils marchaient presque toujours à droite. Pour comprendre pourquoi, on a fait une autre expérience, où cette fois deux piétons se croisent dans un couloir droit. On voulait voir comment ils s'évitent. On s'est aperçu que dans cette situation, les piétons s'évitent principalement par la droite, sans même communiquer. Une sorte de règle implicite – on parle de convention sociale – facilite l'évitement entre les deux piétons. Cette règle diffère d'un pays à l'autre. Dans certains, comme la France, on s'évite par la droite ; dans d'autres, comme l'Australie ou le Japon, par la gauche. C'est ce biais d'évitement à l'échelle d'un piéton qui crée la structure de l'« autoroute » : si les piétons s'évitent par la droite, l'autoroute apparaît à droite, et inversement. Est-ce en rapport avec la façon dont roulent les voitures ? Presque toujours, mais il y a des exceptions. À Londres, les gens marchent à droite et les voitures roulent à gauche.



© Muhammad Fala'ah Interim/Getty

Sait-on pourquoi ?

On a compris que la préférence d'évitement des piétons provient juste d'une habitude de notre cerveau d'apprendre à chaque expérience de la vie. Si en évitant quelqu'un par la gauche, vous lui rentrez dedans, votre cerveau retiendra qu'il faudra passer à droite la prochaine fois. Et si, en l'évitant par la droite, tout va bien, votre cerveau retiendra aussi l'information. Quand cet apprentissage, dit par renforcement, se met en place chez tous les individus en même temps de façon répétée, peu à peu, la population s'accorde sur un côté d'évitement. C'est ainsi qu'apparaissent les normes et les conventions sociales, comme le nombre de bises en fonction des régions de France. Il se trouve que le code de la route influe sur nos préférences d'évitement. C'est pour cela qu'on



Un ou deux individus plus rapides suffisent à réduire la vitesse de tous les piétons



observe une corrélation entre trafic automobile et comportement des piétons. Mais la corrélation n'est pas parfaite. En particulier, en Angleterre, qui est en quelque sorte une enclave où les véhicules roulent à gauche, entourée de pays où l'on roule à droite, il y a probablement conflit entre l'effet des pays voisins sur les piétons et l'effet des automobilistes.

Il arrive qu'un individu aille plus vite ou plus lentement. Cela a-t-il un effet sur le flux des piétons ?

Dans une foule où tout le monde s'accorde à peu près pour marcher à la même vitesse, élevée ou non, les autoroutes de piétons se mettent en place, fluidifient le trafic et tout va bien. Mais si quelques individus décident d'aller vite ou plus lentement, cela ne fonctionne plus. Ceux qui vont vite ont tendance à doubler, ce qui crée une perturbation: ils se retrouvent en face du flux opposé, lequel se scinde en deux, ce qui déclenche une réaction en chaîne qui, de proche en proche, dissout toute l'organisation. Puis l'autoroute réapparaît un peu plus tard, et disparaît à nouveau: elle devient instable, ce qui réduit la qualité du trafic. En fait, un ou deux individus



La foule de pèlerins qui se rassemble chaque année à La Mecque est particulièrement dense (ci-contre le 6 janvier 2006). Le 12 janvier 2006, lorsque la bousculade qui a causé 632 morts s'est produite à l'entrée du pont Djamarat, qui conduit aux trois piliers de Satan, certaines zones de cette entrée comptaient jusqu'à neuf personnes par mètre carré, soit l'équivalent de 14 personnes dans une baignoire...

suffisent à réduire la vitesse de marche de tout le monde en doublant, quel que soit le nombre de personnes sur l'autoroute de piétons.

Retrouve-t-on des comportements similaires chez les animaux ?

En effet. Quand j'étais doctorant à l'université Paul-Sabatier, à Toulouse, je travaillais dans un laboratoire d'éthologie, sous la direction de Guy Théraulaz, et mes collègues étudiaient des troupeaux de moutons, des bancs de poissons, des fourmis... Dans les colonies de fourmis, ils ont ainsi observé que se met parfois en place un trafic bidirectionnel du même ordre que celui des piétons, avec des fourmis qui quittent leur nid à la recherche d'une source de nourriture et d'autres qui ont trouvé une telle source et reviennent les mandibules chargées. Sur ces pistes de fourragement, les fourmis s'organisent elles aussi en autoroutes, avec cette fois un flux qui passe au milieu de l'autre. Les mécanismes sont un peu différents, mais la structuration collective est sensiblement la même: contrairement aux piétons, les fourmis qui vont dans un sens et celles qui vont dans l'autre ne sont pas les mêmes. Les fourmis du flux central rentrent à la fourmilière chargées de nourriture, tandis que les autres ne portent rien. On peut imaginer cette situation dans une gare: les gens qui portent une valise ont moins la possibilité de tourner et se retrouvent vers le centre, alors que ceux qui ne portent rien sont plus libres de leurs mouvements et se retrouvent sur les côtés.

Avec toutes ces découvertes, connaît-on assez bien les foules à présent pour les modéliser de façon satisfaisante ?

On les connaît de mieux en mieux, mais jamais parfaitement. En fait, cela dépend de la question que l'on se pose. On réussit plutôt bien à modéliser le trafic piétonnier dans une ville. On sait aussi repérer les zones de danger lors d'un grand rassemblement. Mais moins la foule est dense, plus elle est imprévisible. Cela paraît paradoxal, mais c'est assez normal. Quand la foule est très dense, la liberté de mouvement de chacun est quasiment nulle. Le comportement de chaque individu devient ainsi beaucoup plus facile à prédire que dans un groupe de quelques personnes, où chacun a une grande liberté de mouvement. Les algorithmes sont ainsi très efficaces à forte densité. D'ailleurs, les entreprises comme la start-up bretonne Golaem reproduisent très bien des foules de synthèse pour des films et des séries. Golaem, par exemple, a participé à la mise en synthèse des foules des trois dernières saisons de *Game of Thrones*.

Inversement, ces modélisations vous aident-elles dans vos recherches ?

Oui, beaucoup. On fait sans cesse des allers-retours entre modélisation et observation. ➤

Typiquement, à un moment donné, un modèle simule le monde réel. On organise alors une expérience pour tester ses prédictions. Si cela ne fonctionne pas, on modifie le modèle en conséquence et on le teste à nouveau. Dans le couloir circulaire, par exemple, le modèle prédisait que des autoroutes de piétons apparaîtraient au bout d'une vingtaine de secondes et persisteraient. De fait, dans l'expérience, les autoroutes se sont formées au moment annoncé. Sauf qu'elles se dissolvaient au bout d'un moment à cause des vitesses de marche. On ne comprenait pas ce qui posait problème. En fait, cet effet des piétons rapides ou lents n'était pas pris en compte dans le modèle. On l'a donc intégré et on a réussi à reproduire cette instabilité dans les prédictions.

Sur quoi travaillez-vous plus spécifiquement en ce moment ?

Sur la fréquence des mouvements de panique comme ceux qui se sont produits deux jours après l'attaque du Bataclan, sur la place de la République, ou le 10 juillet 2018 à Nice, sur le cours Saleya, la principale voie piétonne, pendant la retransmission d'un match de foot, ou encore le 23 mars dernier à Disneyland Paris. Le scénario est toujours le même : une fausse alerte, et tout le monde se met à fuir dans une certaine direction. Ces mouvements sont assez dangereux, car ils créent des pics de densité. On essaye de comprendre pourquoi on observe une recrudescence des mouvements de panique. C'est clairement à cause des récentes vagues d'attentats terroristes. On veut savoir combien de temps cette mémoire collective des attentats perdure avant que les mouvements de panique ne s'arrêtent. Le risque qu'il y ait un accident à cause de la foule est à mon avis plus important que celui d'un attentat terroriste.

Au regard des connaissances actuelles, quels conseils donneriez-vous pour s'en sortir dans un mouvement de foule ?

Le premier conseil est de partir avant qu'il ne soit trop tard. Souvent, on perçoit qu'on se sent mal, mais on ne voit pas le danger et on continue d'avancer. Or, à ce moment-là, il est encore temps de se faufiler pour partir. Ensuite, la majorité des victimes meurent d'asphyxie. Les premières se retrouvent le long des parois solides, où elles ne peuvent plus suivre le mouvement et sont compressées. Il faut donc éviter d'être près d'un mur ou d'un grillage. Par ailleurs, en cas de compression extrême, replier ses bras contre sa cage thoracique, comme un boxeur, peut donner quelques centimètres aux poumons pour respirer. Il est aussi important de ne pas tomber, car il est alors très difficile de se relever. Enfin, un réflexe, quand on est bousculé par ses voisins, est de les repousser. Or, d'un point de vue physique, cela a tendance



Le QI n'est pas du tout déterminant pour la performance d'un groupe



à amplifier le phénomène. Au contraire, il faut se laisser porter par la foule en tâchant, toujours, de rester sur ses jambes.

Vous vous intéressez par ailleurs à la contagion sociale, c'est-à-dire à la propagation de l'information dans une foule, en l'occurrence via les réseaux sociaux. Détecte-t-on aussi des lois ?

Oui, des modèles apparaissent depuis les années 2000, qui cherchent à anticiper si une information va se propager loin ou non, et notamment à décrire ce qui fait que telle personne partage une information et la propage. L'arrivée des réseaux sociaux a bouleversé ces recherches. On disposait soudain d'une énorme quantité de données. Au début, les chercheurs ont beaucoup utilisé Facebook, mais depuis les scandales d'intrusion dans la vie privée, l'accès aux données de ce réseau est réservé à son centre de recherche, qui ne divulgue que très peu ses résultats. En revanche, d'autres réseaux sociaux comme Twitter, où les gens cherchent à communiquer au plus grand nombre, sont publics par définition. On peut donc y étudier la propagation des informations. On s'est ainsi aperçu que dans la majorité des cas, une information ne se propage pas. À cause du flux qui submerge les utilisateurs, elle s'éteint dès son introduction sur le réseau. En revanche, quelques-unes déclenchent des cascades dont on sait reconstruire le chemin. En 2018, Soroush Vosoughi, de l'institut de technologie du Massachusetts, et ses collègues, ont ainsi montré que les vraies et fausses informations se propageaient différemment.

Ils ont collecté environ 126 000 informations tweetées par quelque 3 millions de personnes et, avec l'aide d'un site de *fact-checking*, ont séparé les vraies des fausses. Ils se sont ainsi rendu compte que les cascades de propagation diffèrent beaucoup d'une catégorie à l'autre. Celles des fausses informations ressemblent à une chaîne : plus grandes et plus longues, elles propagent plus vite l'information. Celles des vraies informations, plus petites et propageant moins vite l'information, s'apparentent plus à un émetteur, qui touche