

on ne l'entreprend que pour les épidémies les plus graves.

Il y aurait pourtant une meilleure méthode – et l'un des instruments nécessaires est probablement dans votre poche ou votre sac à main en ce moment même. Aujourd'hui, la plupart des gens se déplacent avec un téléphone mobile, qui conserve les données de géolocalisation dans le système d'exploitation ou dans une application accessoire. En outre, les informations recueillies par les opérateurs de téléphonie auprès des antennes relais permettent de suivre les allers et venues d'une personne. Quand des patients sont infectés par des organismes présentant un danger de santé publique, on pourrait ainsi, moyennant leur accord, étudier l'historique de leurs déplacements récents. Les épidémiologistes pourraient alors déterminer rapidement si plusieurs patients touchés par les mêmes organismes ont visité un endroit identique dans une certaine fenêtre de temps.

Comme dans les enquêtes épidémiologiques classiques, la vie privée des personnes devra être respectée. La différence

est que l'on obtiendrait les réponses bien plus vite. Avec les données d'un réseau bien conçu de détecteurs universels de pathogènes, on pourrait identifier presque en temps réel des menaces pour la santé publique telles qu'un début d'épidémie, une attaque bioterroriste ou une contamination grave d'aliments. Mieux, les experts connaîtraient immédiatement l'origine de l'infection et l'importance de sa dissémination. Les résultats pourraient être communiqués aux patients ou aux autorités de santé, et les médecins transmettraient les informations sur les traitements efficaces. Avec un tel système, les domaines du diagnostic et de l'épidémiologie quitteraient enfin le XIX^e siècle pour entrer dans le XXI^e.

Combien de détecteurs de pathogènes le réseau doit-il comporter pour constituer un système d'alerte efficace à l'échelle d'un pays ou d'une région ? L'une des façons les plus simples d'aborder la question est d'utiliser une simulation dite de Monte Carlo, où un ordinateur répète un même scénario dans de multiples conditions différentes choisies aléatoirement, afin de déterminer

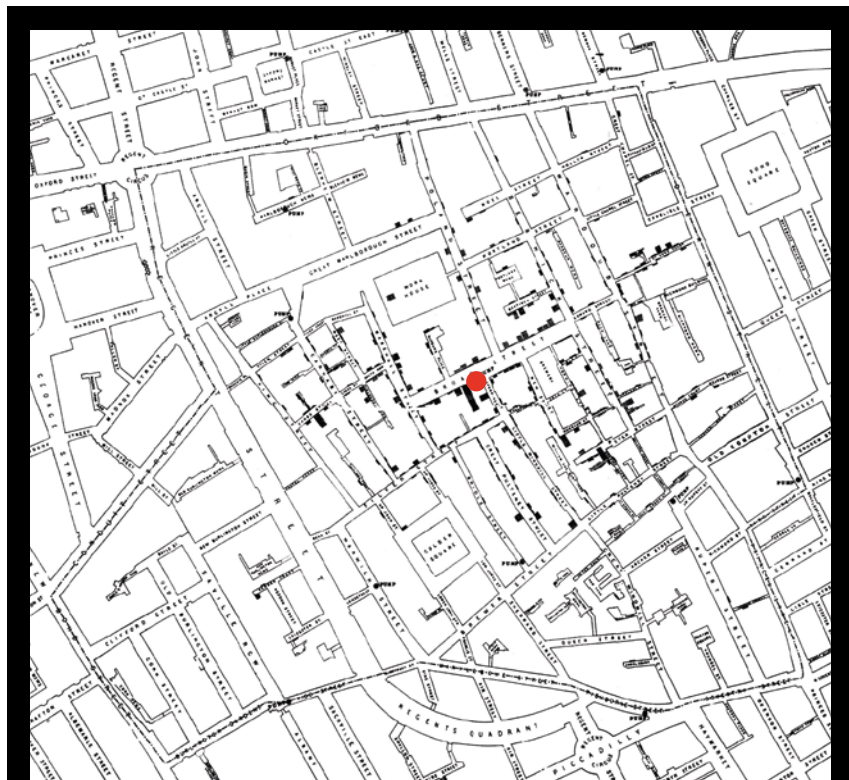
une gamme de résultats possibles. Dans un modèle de propagation des épidémies, j'ai rentré des données épidémiologiques américaines concernant les taux d'infection, les lieux où les malades se rendent pour obtenir des soins, le nombre de tests diagnostiques commandés et les durées d'incubation d'une vaste gamme d'organismes infectieux. Puis j'ai effectué les calculs des milliers de fois, afin d'évaluer la taille à partir de laquelle le réseau pourrait détecter de façon précoce un organisme menaçant la santé publique.

200 détecteurs de pathogènes suffiraient pour les États-Unis

Les résultats ont été impressionnants. Connecter au réseau 200 hôpitaux répartis à travers le pays suffirait pour couvrir toute la population des métropoles américaines. Chaque région urbaine de la taille de Washington ou de San Diego nécessiterait environ cinq hôpitaux dotés de détecteurs universels de pathogènes connectés au réseau. Il y aurait alors 95 pour cent de chance de détecter immédiatement un agent infectieux préoccupant pour la santé publique (grippe aviaire, maladie du charbon, peste, pathogène d'origine alimentaire, etc.) si seulement sept personnes atteintes se rendaient dans un service de soins d'urgence.

Le nombre étonnamment petit de machines nécessaires (les nœuds du réseau) est dû à des « effets d'entonnoir ». La plupart des malades restent à la maison pour se soigner seuls, mais les plus atteints se déplacent jusqu'à un hôpital (le premier entonnoir), où des médecins (le second entonnoir) décident s'ils doivent subir des tests. Les machines sont placées au bout de ce second entonnoir. En d'autres termes, on n'a pas besoin d'installer des détecteurs partout ; suffisamment de malades « adéquats » se dirigeront d'eux-mêmes vers les détecteurs.

J'ai effectué des simulations pour les maladies infectieuses les plus communes et les plus graves, avant de comparer les performances d'un tel réseau avec celles du système d'alerte actuel. Le « Réseau menace », comme je l'ai surnommé, s'est révélé bien plus efficace pour détecter les nouvelles épidémies. Il identifiait le front de propagation de ces dernières plusieurs



LA CARTOGRAPHIE DES CAS DE CHOLÉRA (*en noir*) en 1854 à Londres a amené le médecin John Snow jusqu'à la source de la maladie : une pompe publique, dont l'eau avait été contaminée par des matières fécales (*point rouge*). Cette méthode est toujours utilisée aujourd'hui, mais le réseau de détecteurs de pathogènes proposé par l'auteur permettrait de déterminer l'origine d'une épidémie bien plus vite.

John Snow, 1854

Une révolution qui réduira les inégalités Nord-Sud

Comme l'explique l'article de David Ecker, les techniques modernes de biologie et de communication pourraient révolutionner le diagnostic précoce des épidémies et améliorer la prise en charge des patients, grâce aux progrès réalisés au cours de la dernière décennie.

Ce qui apparaissait comme de la science-fiction il y a peu est devenu de l'ordre du raisonnable. Outre la méthode décrite dans l'article, d'autres outils sont en cours de développement. Frank Aarestrup, de l'Université technique du Danemark, coordonne ainsi le projet *Global Microbial Identifier* (Identificateur mondial de microbes), ou GMI, qui regroupe 140 chercheurs du monde entier. Ce projet vise à construire une base de données sur les pathogènes (bactéries, virus, parasites et champignons), dont le génome complet sera obtenu grâce à de nouvelles tech-

niques de séquençage. Celles-ci permettront d'harmoniser les données partielles collectées, parfois à l'aide de techniques différentes, par divers laboratoires. Le projet GMI répertoriera en outre diverses métadonnées sur les pathogènes (lieux où on les trouve, traitements existants, etc.) et proposera des algorithmes pour analyser les échantillons prélevés sur les patients.

Lancé en 2011, ce projet devrait aboutir à une base de données opérationnelle en 2020. J'ignore quel réseau de diagnostic sera finalement le plus utilisé, mais je suis presque

sûr que nous ne travaillerons plus de la même façon à très brève échéance.

Ces développements technologiques, coûteux, ne risquent-ils pas d'accroître les inégalités Nord-Sud face aux maladies infectieuses ? *A priori* non : ils pourraient même contribuer à les réduire. En effet, il est plus simple de prélever les échantillons et de les transporter vers de grands centres, où des appareils de diagnostic universels et très rapides seront disponibles, que d'appliquer localement de multiples techniques, chacune testant une maladie spécifique, comme on le fait aujourd'hui. Les techniques telles que la PCR, pratiquées avec de petits robots simples à utiliser, vont probablement être dépassées. En effet, les appareils nécessaires sont peu adaptés aux

pays les plus pauvres, où une alimentation électrique n'est pas disponible partout et où la chaîne du froid, essentielle pour les réactifs, est souvent rompue. La liaison avec les médecins restés sur place pourra être assurée grâce aux téléphones portables intelligents, dont chacun dispose, et les disparités dans la transmission des résultats seront là encore atténuées.

Cependant, ni le sida, ni les bactéries multirésistantes, ni Ebola ne disparaîtront par un coup de baguette magique moléculaire ou électronique ! La lutte contre les principales épidémies passera encore et toujours par une prise de conscience politique conduisant à l'attribution de moyens adéquats à grande échelle, ainsi que par le dévouement des soignants.

— **Antoine Andreumont**
Hôpital Bichat-Claude Bernard, Paris

jours à plusieurs semaines avant le système en place. Or détecter une épidémie ne serait-ce que quelques jours plus tôt peut sauver des milliers de gens, en permettant aux hôpitaux de se préparer à un afflux de personnes, aux autorités sanitaires de puiser dans les réserves de médicaments, voire aux enquêteurs de déterminer l'origine de la maladie.

Selon mes calculs, l'établissement d'un réseau de 200 hôpitaux coûterait environ 40 millions de dollars (près de 30 millions d'euros), en supposant que chacun achète son propre détecteur de pathogènes, et le fonctionnement du réseau demanderait 15 millions de dollars (11 millions d'euros) par an. Pour comparaison, une étude de 2012 a estimé le coût, aux États-Unis, des soins et des absences au travail associés aux 12 causes les plus communes de maladies graves d'origine alimentaire : il s'élève à 14 milliards de dollars (10 milliards d'euros) par an.

Il n'existe encore aucun système de surveillance épidémiologique aussi élaboré que le « Réseau menace ». L'expérience suggère que la conception des appareils et des logiciels sera la partie la plus facile, mais qu'il faudra prendre en compte de nombreux

paramètres réglementaires ou légaux. Le plus grand obstacle est que, dans les pays où les systèmes de santé sont décentralisés et privés pour la plupart, personne n'a le mandat ou le pouvoir de lancer seul une telle entreprise – malgré l'intérêt collectif qu'elle présente. Le « Réseau menace » nécessitera une coopération intense entre les médecins, les infirmières, les administrateurs des hôpitaux, les experts de la santé et les défenseurs de la vie privée, coopération qui peut être difficile en l'absence d'une autorité centrale.

Une approche du diagnostic des maladies infectieuses intégrée à l'échelle d'une société entière sera plus efficace et beaucoup moins coûteuse que l'approche classique. Surveiller la santé publique en temps réel ou presque, en se fondant sur les nouvelles technologies de diagnostic et de communication, permettrait d'améliorer les soins, d'économiser des médicaments et d'émettre des alertes précoces grâce auxquelles les épidémies et les éventuelles attaques bioterroristes seraient maîtrisées plus tôt. Reste à montrer que nous avons assez de sagesse pour combiner nos efforts et bâtir un système de surveillance sanitaire plus intelligent. ■

■ BIBLIOGRAPHIE

J. J. Farrell *et al.*, « Salvage microbiology » : Detection of bacteria directly from clinical specimens following initiation of antimicrobial treatment, *PLoS One*, vol. 8(6), e66349, 2013.

R. Sampath *et al.*, Comprehensive biothreat cluster identification by PCR/electrospray-ionization mass spectrometry, *PLoS One*, vol. 7(6), e36528, 2012.

D. J. Ecker *et al.*, Ibis T5000 : A universal biosensor approach for microbiology, *Nature Reviews Microbiology*, vol. 6, pp. 553-558, 2008.