

Le médecin et le plombier lilliputien

Des développements en microtechnologie promettent une révolution dans le domaine du diagnostic médical.

Par Thomas Gervais

Montréal, 10 avril 2026. Confortablement installée chez elle à son poste de travail, K. effectue l'examen de son propre sang. Tandis qu'elle insère son index gauche dans le lecteur médical de son ordinateur personnel, qui prélève une minuscule goutte de fluide à travers la peau, sa main droite s'affaire à verser nerveusement le petit gobelet de crème dans son deuxième café.

Presque instantanément, la crème se mélange en virevoltant doucement dans le liquide brûlant alors que, dans les entrailles de son appareil, la microgoutte de sang se fait analyser. Les résultats s'affichent à l'écran : taux de glucose : normal, contenu viral : nul, caféine : élevée (elle s'en doute déjà), contenu microbien : nul. K. soupire de soulagement. Sa toux n'est que passagère, une visite chez le médecin sera inutile.

Pour Hang Lu, professeure de génie biologique à l'Université Georgia Tech à Atlanta, ce genre de système personnalisé de diagnostic ultra-rapide tient de moins en moins de la fiction. « Cette technologie sera prête dans dix ans peut-être, 20 ans si je suis prudente, avance la jeune diplômée du MIT. Comme des milliers d'autres scientifiques partout dans le monde, elle s'applique corps et âme à développer cette technologie qui bouleversera notre rapport avec la médecine et qui apportera peut-être une solution au problème de l'engorgement des salles d'urgences : la « microfluidique ».

Cette sorte de microplomberie automatisée permet de manipuler de minuscules quantités de liquides et de les analyser. Dans ce néologisme, le préfixe « micro », désigne des tailles de l'ordre du millième de millimètre et « fluide » indique qu'il s'agit

d'échantillons liquides. « Avec cette technologie en main, nous serons capables de poser des diagnostics rapidement au lieu d'attendre un mois après un examen chez le médecin. Nos services de santé seront plus efficaces et à prix moindres », avance la chercheuse, confiante.

Plus près de chez nous, David Juncker occupe depuis peu le poste de professeur de génie biomédical à l'Université McGill. Fraîchement recruté du prestigieux centre de recherche d'IBM à Zurich, le chercheur suisse est l'un des nombreux experts mondiaux en microfluidique à avoir été formés à la Mecque de l'informatique. La multinationale possède en effet les meilleurs laboratoires de recherche au monde dans le domaine de la microélectronique, une technologie qui a servi de modèle pour la fabrication des systèmes de microplomberie.

Dans un circuit microélectronique (tel une puce informatique), les transistors agissent comme des valves qui contrôlent le passage de courants (donc d'électrons) dans un circuit logique. En microfluidique, la situation est analogue : des microvalves et des systèmes de micropompage contrôlent le passage de liquides divers dans un circuit de tuyaux au diamètre avoisinant celui d'un cheveu. Le but n'est plus de réaliser des opérations logiques, mais bien de préparer et d'analyser des échantillons biologiques. « Il existe un grand potentiel d'intégration entre la microélectronique et la microfluidique. En les combinant, nous serons capables de reproduire le travail d'un laboratoire entier sur une puce de quelques centimètres carrés », explique le Dr Juncker.

Hormis l'avantage évident de la portabilité, la miniaturisation des systèmes de diagnostic leur confère des propriétés entièrement nouvelles. « En réduisant le diamètre de nos tuyaux, on force les molécules à se rapprocher les unes des autres, illustre le spécialiste. Toute réaction biochimique se produit donc plus rapidement et avec moins de pertes. Bref, nous pouvons faire plus avec moins. »

Leçon de préhistoire informatique

Durant la Deuxième Guerre Mondiale, les ingénieurs de l'armée américaine ont créé toute une commotion en inaugurant une machine révolutionnaire, le super ordinateur ENIAC. D'un poids de 27 tonnes, ce dinosaure de l'informatique, qui nécessitait plusieurs employés pour l'opérer, produisait alors un famélique 5000 additions simples par secondes. Grâce à l'invention du transistor et à un effort soutenu de miniaturisation, un ordinateur portable pèse aujourd'hui deux kilos et possède un million de fois la puissance de calcul de l'ENIAC.

Le même sort est envisageable pour les laboratoires médicaux qui ressemblent un peu à l'ENIAC d'autrefois. En utilisant la microfluidique comme technologie d'automatisation toutes les étapes d'un diagnostic -culture des bactéries, préparation d'échantillons, détection, etc.- peuvent être repensées en version miniature et intégrées dans un même appareil, ce qui permet des gains spectaculaires en vitesse d'analyse. C'est le fameux concept de « laboratoire-sur-puce », tel que décrit par David Juncker et si populaire à l'échelle mondiale que la Société Royale de Chimie du Royaume-Uni a créé, en 2001, une revue mensuelle spécialisée consacrée à l'avancement de cette technologie: « Lab on a Chip ».

Cyril Delattre, ingénieur-chercheur à la Commission de l'Énergie Atomique à Grenoble (CEA-LÉTI), travaille justement à l'élaboration d'un prototype de labo-sur-puce servant à diagnostiquer les maladies respiratoires. Fabriqué entièrement avec du silicium, un matériau emprunté directement à la microélectronique, son appareil comprend un système de préparation, d'amplification et de détection de l'ADN de bactéries et de virus pulmonaires. Ainsi, un travail requérant plusieurs mètres carrés d'espace de laboratoire se retrouve concentré sur une surface de la taille d'une carte de crédit. « Cette technologie va avoir un impact particulièrement important dans le milieu hospitalier, croit-il. Si un malade est contagieux, nous le saurons instantanément et prendrons les moyens afin d'éviter qu'une épidémie ne se propage dans l'hôpital.»

Miniaturiser n'est toutefois pas une mince affaire. Plus on rétrécit le diamètre d'un tube, plus l'eau s'y comporte comme un liquide visqueux, stipulent les grands principes de physique. Si la crème et le café de K. devaient se rencontrer dans un appareil microfluidique, il faudrait probablement plusieurs minutes avant qu'ils ne se mélangent complètement. C'est un peu comme si on désirait mélanger deux sortes de miel ensemble dans une tasse à café. À l'échelle micrométrique, il faut donc rivaliser d'ingéniosité afin d'apporter des solutions aux nombreux problèmes de ce type.

Des progrès concrets

Combien de maladies, génétiques, bactériologique, virales ou autres, peut-on diagnostiquer à partir d'une seule goutte de sang? « Des centaines », affirme Michel G. Bergeron, professeur à l'Université Laval et directeur du centre de recherche en infectiologie (CRI). « Le malheur, s'indigne le médecin infectiologue, c'est que le diagnostic est la forme de prévention la plus méconnue et la plus négligée par les gouvernements. Ça n'a aucun sens! Nous avons besoin d'une nouvelle médecine préventive.» Malgré des ressources limitées dans ce domaine (2 % à 3 % du budget total de la recherche médicale en Amérique du Nord sont alloués au diagnostic), le Dr Bergeron a tout de même réussi à obtenir de copieux subsides de Génome Québec afin d'aller de l'avant avec son projet révolutionnaire : utiliser la microfluidique pour diagnostiquer rapidement des infections bactériennes.

La technologie, développée au sein de son groupe de recherche, est astucieusement simple : des microcanaux sont fabriqués sur un disque compact et orientés du centre vers l'extérieur, comme les rayons d'une roue de vélo. Il suffit de déposer une goutte de sang (ou d'autres fluides corporels) au centre du disque, d'appuyer sur « Play » et la force centrifuge se charge de faire glisser le liquide d'une extrémité du tube à l'autre. Dans les capillaires en rotation, les échantillons sont préparés chimiquement, puis exposés à des microbilles magnétiques dont la surface est conçue pour agripper exclusivement l'ADN des bactéries. Un champ magnétique permet d'attirer toutes les billes et leur ADN captive en un point alors que le reste du sang (plasma, globules rouges et blancs,

plaquettes, etc.) est évacué. En quelques minutes, l'analyse de cet ADN permet de connaître avec précision le nombre et le type de bactéries en présence.

Selon le Dr Bergeron, 70 bactéries sont responsables de 99 % des septicémies (infections du sang) et une cinquantaine de bactéries différentes causent la pneumonie. Possédant une capacité de distinguer 150 types de microbes simultanément, sa technologie permet donc de détecter toutes les bactéries se rapportant à une maladie sur un seul disque.

Désormais, les médecins qui soupçonnent leurs patients d'être atteints de septicémie pourront « faire jouer » le CD correspondant pour en avoir le cœur net et prescrire les antibiotiques appropriés sur-le-champ. « Jusqu'à présent, il faut prélever un échantillon, l'envoyer au labo et les résultats n'arrivent que deux à trois jours plus tard, souligne-t-il. Le médecin doit donc choisir entre prescrire un antibiotique générique potentiellement inutile ou attendre les résultats des tests et risquer des complications. »

De l'information, et vite!

Or, une prescription erronée, à cause d'un diagnostic incomplet ou trop lent, écorche gravement le système médical, surtout lorsque l'on connaît les coûts élevés de certains nouveaux traitements. « Il est important de développer des outils diagnostiques qui nous permettront de prescrire des médicaments appropriés pour chaque patient, estime le Dr Malcolm Whiteway, chef de la section génétique de l'Institut de recherche en biotechnologie du Conseil national de la recherche du Canada (CNRC). Pour notre gouvernement, il est primordial sur les plans économique et humain de diriger les ressources aux personnes qui en ont vraiment besoin. »

Les scientifiques savent toutefois très bien que davantage d'information n'est pas toujours synonyme de qualité. « Il y a un danger de surdose d'information. De nos jours, celle-ci est de plus en plus disponible et on se rend compte que c'est très difficile pour les gens de l'intégrer dans leur mode de vie », préviennent Bartha Maria Knoppers et Denise Avard, toutes deux chercheuses au Centre de recherche en droit public de l'Université de

Montréal. « En connaissant les menus détails de leur santé, ou bien les gens seront contents, ou ils deviendront fatalistes ». Quels seraient, par exemple, les avantages de dépister une propension génétique à l'Alzheimer, s'il n'existe aucun traitement ?

Alors que les chercheurs commencent à peine à s'intéresser à ces questions bioéthiques, les résultats de la recherche du docteur Bergeron les placent devant le fait accompli. Sa compagnie, Infectio Diagnostic Inc., qui emploie environ 170 personnes dans la région de Québec, prévoit vendre ses premiers « diagno-disques » d'ici 18 mois. Malgré la simplicité de sa technologie, l'inventeur-médecin n'en demeure pas moins sceptique quant à son acceptation rapide dans les milieux médicaux : « Il est extrêmement difficile de changer la mentalité des médecins et des infirmières. Pour que la technologie commence vraiment à avoir un impact il faudra peut-être attendre une génération. »

Le plombier lilliputien, créé de toutes pièces par des chercheurs visionnaires, saura peut-être convaincre le médecin, une fois pour toutes, qu'il est plus facile de prévenir que de guérir.

Liste d'intervenants :

Tous les intervenants ont été interviewés soit en personne, soit par téléphone.

Hang Lu, Professeure à l'université Georgia Tech en Génie Biomédical. Spécialiste en microfluidique. Interviewé par téléphone.

David Juncker, Professeur à l'université McGill en Génie biomédical. Expert en microfabrication. Interviewé en personne.

Cyril Delattre, Ingénieur-chercheur, Commissariat de l'Énergie Atomique (CEA), Laboratoire d'Électronique et de Technologies de l'Information (LÉTI), Grenoble, France. Interviewé par téléphone.

Dr. Michel G. Bergeron, Médecin infectiologue, Université Laval, directeur du Centre de Recherche en Infectiologie (CRI). Interviewé par téléphone.

Dr Malcolm Whiteway : Généticien, directeur de la section génétique du centre national de la recherche du Canada (CNRC). Interviewé en personne.

Dr. Bartha Maria Knoppers : Juriste et chercheur au CRDP, Université de Montréal. Interviewée en personne.

Mme Denise Avard, infirmière et chercheur au CRDP. Directrice du projet Génome et Société. Interviewée en personne.

Dr Tom Hudson : Directeur du centre d'innovation de Génome Québec. Médecin chercheur en génomique. – Non cité. Interviewé par téléphone.

Dr. Suzanne Gaudet, Chercheur Senior au MIT en biologie des systèmes – Non citée. Interviewée en personne.

Références scientifiques consultées:

1. M. Toner, D. Irimia, Blood-on-a-chip, Annual Review of Biomedical Engineering, 7, pp. 77-103, 2005.
2. D. R. Meldrum, M. R. Holl, Microscale bioanalytical systems, Science 297, pp. 1197 (Aug 16, 2002).
3. D. R. Walt, Miniature analytical methods for medical diagnostics, Science 308, pp. 217 (Apr 8, 2005).
4. L. Hood, J. R. Heath, M. E. Phelps, B. Y. Lin, Systems biology and new technologies enable predictive and preventative medicine, Science 306, pp. 640 (Oct 22, 2004).
6. H. Kitano, Systems biology: A brief overview, Science 295, pp. 1662 (Mar 1, 2002).
7. A. D. Weston, L. Hood, Systems biology, proteomics, and the future of health care: Toward predictive, preventative, and personalized medicine, Journal of Proteome Research 3, pp. 179 (Mar-Apr, 2004).
8. G. M. Whitesides, Ingber, D.E., Soft Lithography in Biology and Biochemistry, Annu. Rev. Biomed. Eng. 3, pp. 335 (2001).
9. G. M. Whitesides, Stroock, A.D., Flexible Methods For Microfluidics, Physics Today, pp. 42 (June 2001, 2001).
10. T. Thorsen, S. J. Maerkl, S. R. Quake, Microfluidic large-scale integration, Science 298, pp. 580 (Oct 18, 2002).
11. P. Mitchell, Microfluidics- downsizing large-scale biology, Nature 19, pp. 717 (August 2001, 2001).
12. D. Beebe, Physics and applications of Microfluidics in biology, Annu. Rev. Biomed. Eng. 4, pp. 261 (2002).
13. J. Knight, Microfluidics: Honey, I shrunk the lab, Nature 418, pp. 474 (Aug 1, 2002).
14. H. A. Stone, S. Kim, Microfluidics: Basic issues, applications, and challenges, Aiche Journal 47, pp. 1250 (Jun, 2001).