



LES FOLLES PROMESSES DE L'ORDINATEUR QUANTIQUE

UNE TECHNOLOGIE POUR...

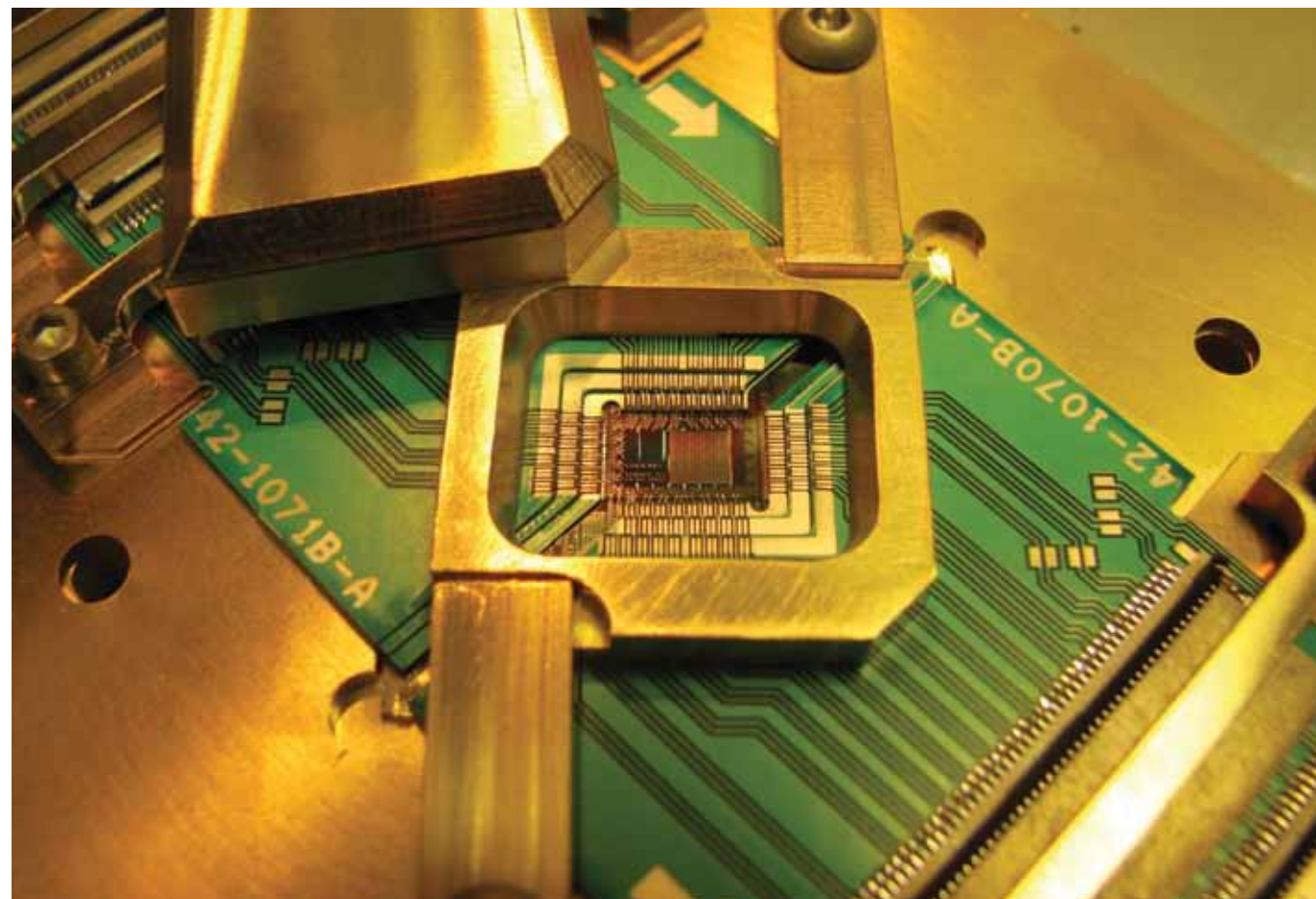
Résoudre des problèmes, notamment d'optimisation, impossibles à traiter avec des supercalculateurs traditionnels

Simuler des phénomènes physiques pour la recherche en chimie, physique, pharmacie

Laissez tomber les giga et même les téraoctets. Avec l'ordinateur quantique, on change d'échelle. Quelques dizaines de « qubits » (les bits d'informations quantiques) et tous les supercalculateurs du monde seront battus. Tous les supercalculateurs... ensemble! Côté applications, la capacité

de calcul de ce nouvel ordinateur lui permettrait de craquer des codes de cryptage réputés aujourd'hui inviolables. Mais aussi de traiter des problèmes complexes d'optimisation: la Nasa, par exemple, s'y intéresse dans l'espoir de trouver plus facilement des planètes habitables dans l'univers, ou pour planifier des missions spatiales. Le tout avec quelques poignées de qubits. Mais en fabriquer un de manière satisfaisante n'est pas si simple et de nombreuses équipes dans le monde s'y efforcent. Il faut ensuite réussir à les assembler pour qu'ils travaillent ensemble. Le record dépasse à peine la dizaine. En parallèle, de nouveaux algorithmes doivent encore être développés pour tirer parti de cette manière inédite de traiter l'information.

La Nasa mise sur l'ordinateur quantique de D-Wave pour progresser dans ses recherches de planètes habitables.



Ions piégés ou qubit à supraconducteurs

Avec les bits quantiques, il faut renoncer à raisonner classiquement. Là où le bit d'information affiche 0 ou 1, le qubit, lui, est 0 et 1, ou une combinaison quelconque de ces deux états. Les caractéristiques quantiques du qubit sont la source de l'énorme capacité du futur ordinateur à traiter des calculs en parallèle. Mais de quoi sont faits les qubits? D'atomes froids, d'ions piégés, de photons, de circuits supraconducteurs... L'exploration se poursuit, mais deux filières sont à la pointe. Avec les ions piégés, chaque ion (du calcium ionisé, par exemple) est suspendu dans des champs électromagnétiques, à très basse température. Un laser permet d'écrire et de lire l'information.

Parmi les champions des ions piégés: l'université d'Innsbruck (Autriche) et David Wineland (National Institute of Standards and Technology, États-Unis), co-prix Nobel 2012 avec le Français Serge Haroche (Collège de France), primé, lui, pour son travail sur les photons. « Les ions piégés ont longtemps été en tête, mais des qubits à supraconducteurs

s'approchent maintenant du même niveau de performance », affirme Philippe Grangier, chercheur à l'Institut d'optique. Parmi les adeptes des supraconducteurs on compte le pionnier John Martinis, à l'Université de Californie Santa Barbara; l'équipe de Michel Devoret, un Français, à l'université de Yale; et celle de Daniel Estève au Commissariat à l'énergie atomique (CEA). Le géant IBM a aussi choisi cette voie de recherche.

L'une des principales qualités de ces qubits est de garder leurs propriétés quantiques assez longtemps. En effet, ces dernières s'évanouissent à la moindre perturbation. Pour les préserver, les qubits sont maintenus à une température proche du zéro absolu (-273°C). Sensibles au moindre « bruit », ils ne peuvent fonctionner que si on leur adjoint un code de correction d'erreurs efficace. Des théoriciens assurent qu'à condition que le taux d'erreur reste en dessous d'un certain seuil - on y arrive avec les ions piégés et les supraconducteurs - cela doit fonctionner. C'est plutôt encourageant. Reste à trouver la technologie idéale pour y parvenir...

Des simulateurs quantiques en attendant

L'objectif de centaines de qubits semble encore loin. Pourtant, D-Wave vend des machines de 128, 512 et bientôt 1024 qubits. Cette société canadienne a même convaincu Lockheed Martin, puis la Nasa, dont le Quantum Artificial Intelligence Lab, créé en partenariat avec Google, est équipé d'un ordinateur D-Wave Two (512 circuits supraconducteurs, soit autant de qubits). Cette machine a suscité des controverses. Ses performances sont-elles meilleures que celles d'un ordinateur classique? Il semble que oui, au moins sur

D.R.

LES DÉFIS À RELEVER

- **Fabriquer des qubits** (bits quantiques) assez stables pour leur faire effectuer des opérations logiques
- **Savoir assembler** des centaines de qubits pour les faire travailler ensemble dans un processeur
- **Développer des algorithmes** qui tireront parti du mode de fonctionnement quantique de l'ordinateur, source de traitements en parallèle à très grande échelle

certains problèmes. Le processeur fonctionne-t-il vraiment avec des effets quantiques? La réponse est plus floue. En réalité, le « cas » D-Wave relève d'une autre option du calcul quantique. Plutôt que de chercher à reproduire des circuits avec des portes logiques, comme dans un processeur actuel, elle consiste à créer des simulateurs quantiques. « L'idée est d'utiliser un grand nombre de qubits imparfaits, et leurs interactions, pour simuler des phénomènes physiques qu'on ne sait pas bien calculer autrement », précise Philippe Grangier. Ce type de fonctionnement est bien adapté à la résolution de problèmes d'optimisation.

Pour le « véritable » ordinateur quantique, celui en tout cas qu'imaginent les physiciens, il faudra attendre. Mais peut-être pas très longtemps. Michel Devoret, dans un article publié en 2013, rappelait qu'il y a vingt ans on espérait que des ingénieurs et des physiciens du futur parviendraient à le construire. Selon le chercheur, au vu des progrès enregistrés, la génération actuelle d'humains a des chances d'être témoin de sa naissance. ■



La start-up française Global Bioenergies développe des procédés de synthèse de synthèses chimiques.

DES CELLULES BIOLOGIQUES REPROGRAMMÉES

UNE TECHNOLOGIE POUR...

L'application des méthodes de l'ingénierie à la création d'organismes vivants

La production, à partir de matières premières renouvelables, de médicaments, de carburants ou d'intermédiaires chimiques

Rêve ou cauchemar, la biologie de synthèses (BS) est la technologie émergente qui suscite le plus de fantasmes. Les biotechnologies et le génie génétique alimentaient les passions, ne serait-ce qu'à travers le débat sur les organismes génétiquement modifiés (OGM). Avec la BS, on passe du bricolage à l'ingénierie.

Ce champ de recherche veut en effet appliquer les méthodes de l'ingénieur à la production de matériel génétique.

Le but, à partir de l'ADN modifié ou resynthétisé, est de programmer des circuits biochimiques pour faire fabriquer une molécule par un micro-organisme. Quitte, c'est l'une des voies de la recherche, à inventer un nouvel ADN, incompatible avec celui qui régit toute vie sur notre planète. Un bon moyen, par ailleurs, pour tenter de comprendre ce que pourrait être une autre forme de vie dans le cosmos...

Sur Terre, la BS fait déjà ses preuves, y compris dans l'industrie. Sanofi produit, par un procédé qui en est issu, l'artémisinine, un médicament contre le paludisme. Michelin, Goodyear et Bridgestone ont chacun un programme visant à produire par BS de l'isoprène, une molécule de base pour la synthèse d'élastomères. De nombreuses start-up, ➔



« Croire ou pas à l'ordinateur quantique, c'est une opinion, pas une question scientifique. Ce qui compte, c'est la dynamique de la recherche. »

Philippe Grangier, responsable du groupe sur l'optique quantique à l'Institut d'optique



« Les résultats sur la synthèse de chromosomes entiers reflètent aussi les progrès en termes de méthodologie. »

François Kepès, qui dirige une équipe à l'ISSB du Génomole, à Évry (Essonne)



LES DÉFIS À RELEVER

- **Mettre en place** la conception et la fabrication de matériel génétique à partir de composants standards, en utilisant le calcul et la simulation, la réutilisation et l'assemblage
- **Développer** des voies métaboliques pour la production de molécules d'intérêt industriel par des micro-organismes
- **Adopter** et faire respecter des règles éthiques concernant la manipulation de matériels génétiques

→ comme Metabolic Explorer et Global Bioenergies en France, développent des procédés pour la synthèse d'intermédiaires chimiques. Le programme Toulouse White Biotechnology associe grands groupes, PME et laboratoires sur des projets qui relèvent souvent de la biologie de synthèse.

Pendant ce temps, la recherche pure bat son plein, comme l'ont montré récemment des avancées spectaculaires. Les biologistes disposent d'instruments de plus en plus précis. Ainsi, une technique qui répond au nom barbare de CRISPR-Cas9 permet de cibler une séquence d'ADN, un gène, pour le modifier, le remplacer, y insérer une séquence... « D'autres méthodes d'édition du génome existent, mais CRISPR-Cas9 est plus facile à utiliser, plus rapide et surtout universelle », précise François Kepès, qui dirige une équipe à l'ISSB du Génomex, à Évry (Essonne).

De l'ADN artificiel

L'autre volet qui progresse à grands pas est la synthèse d'ADN. Ou plutôt de chromosomes entiers. Dernier record en date: un chromosome d'une levure, synthétisé par une équipe de la New York University (NYU), qui, replacé dans le micro-organisme, fonctionne! Le projet vise la synthèse des 16 chromosomes de la levure (plus de 6 000 gènes). Le résultat est révélateur d'une avancée méthodologique. « Le laboratoire de NYU a su coordonner le travail de nombreux chercheurs et appliquer des règles de contrôle qualité, d'assemblage... Un processus d'ingénierie applicable à d'autres projets », souligne François Kepès.

Ces prouesses pourraient paraître pâles à côté des travaux qui se proposent de réviser notre code génétique. C'est l'objectif des biochimistes qui créent des XNA, soit des versions de l'ADN dont des composants de base ont été modifiés, mais qui pourraient toujours coder de l'information et programmer le fonctionnement d'êtres vivants. C'est jouable, si l'on en croit les publications récentes de deux équipes. L'une, au Scripps research institute en Californie, a fait vivre une bactérie avec son XNA. L'autre, des chercheurs de Cambridge et de l'ISSB d'Évry, a même montré, avec quatre variétés de XNA, que l'ADN artificiel pouvait piloter, comme l'ADN naturel, la synthèse d'enzymes qui catalysent les réactions biochimiques.

Les implications fondamentales sont considérables. Les débouchés pratiques potentiels aussi. Avec des micro-organismes programmés par des XNA, il serait possible de créer une industrie de biosynthèse « orthogonale » à la biologie naturelle, et donc éviter tout risque de dissémination dans l'environnement. ■

DES PROTHÈSES DANS LE CERVEAU

UNE TECHNOLOGIE POUR...

Rendre de l'autonomie à des personnes amputées ou paralysées : en recueillant les signaux électriques du cerveau à l'aide de dispositifs implantables, afin de piloter un bras de robot ou un exosquelette ; en rétablissant les connexions entre le cerveau et les membres par stimulation électrique

Les vidéos des premiers essais ont surpris tout le monde. On y voit une femme tétraplégique piloter par la pensée le bras d'un robot pour attraper une bouteille. Un projet du laboratoire Clinatex, à Grenoble (Isère), prévoit rien de moins que de faire remarcher un tétraplégique à l'aide d'un exosquelette de quatre membres. Ces expérimentations reposent sur des

neuroprothèses, c'est-à-dire des dispositifs électroniques connectés au système nerveux du patient, qui permettent à ce dernier de transformer ses désirs de mouvement (saisir un objet, se déplacer en marchant) en mouvements effectifs réalisés par un bras de robot, une prothèse ou ses propres membres paralysés.

Le principe est de capter les signaux électriques du cerveau, de les décrypter et de les utiliser pour agir via un ordinateur ou un système électronique. Le plus simple est d'utiliser un casque d'électroencéphalographie (EEG), dont les électrodes recueillent des signaux pouvant signifier, avec un peu d'entraînement, un oui ou non, un choix dans une liste... Des jeux vidéo et des outils d'assistance aux malades tentent d'intégrer ce nouveau mode de communication. Mais si l'on veut contrôler une prothèse, ou redonner un peu de liberté de mouvement à une personne paralysée, c'est à des implants, plus invasifs, qu'il faut recourir. C'est une équipe pionnière de la Brown University de Providence, dans l'État de Rhode Island (États-Unis), qui a permis à des tétraplégiques de piloter finement un bras de robot.

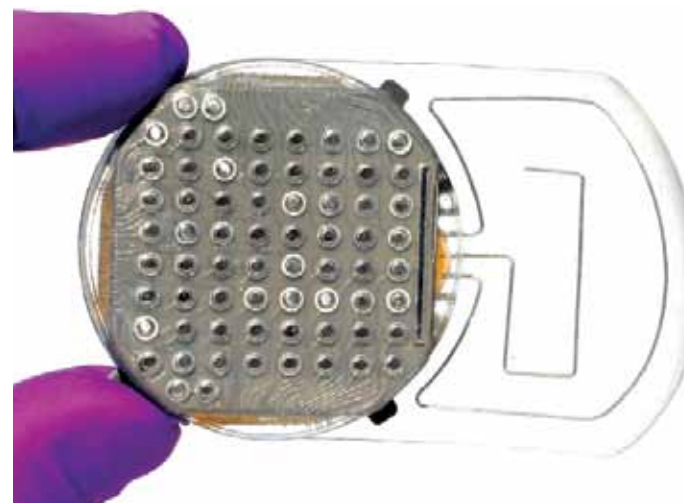
Au contact des neurones

Les patients imaginent le mouvement et les signaux générés par leur cerveau, traités et analysés, commandent le robot selon leur souhait. L'implant qui collecte les signaux est une matrice de 96 microélectrodes, placée chirurgicalement dans le cortex. Cette matrice, qui capte les signaux directement au contact des neurones, a l'avantage de la précision. Une autre équipe américaine, à l'université de Pittsburgh, l'a démontré en décembre 2014. Grâce à un implant, une femme paralysée a pu manœuvrer un bras de



Corinne Mestais, coordinatrice technique du projet de neuroprothèse au CEA-Clinatex, à Grenoble

« L'ambition est d'avoir un dispositif implantable sur le long terme, afin d'apporter une véritable amélioration à la vie du patient. »



Le laboratoire Clinatex, à Grenoble (Isère), espère rendre à une personne tétraplégique la possibilité d'effectuer des mouvements grâce à un implant d'électrodes et à un exosquelette.

LES DÉFIS À RELEVER

- **Créer des dispositifs électroniques** implantables pour une longue durée
- **Traiter efficacement** les signaux électriques du cerveau du patient pour les transformer en commandes de gestes précis
- **Passer le cap** des essais cliniques

robot doté d'une main anthropomorphe avec 10 degrés de liberté : les mouvements 3D du bras, plus la forme donnée à la main. Autant de précision gagnée pour saisir un objet. Mais la matrice de microélectrodes n'a pas que des atouts. Elle est très invasive, avec des risques de réaction des tissus neuronaux et des conséquences sur la qualité des contacts électriques et la transmission des signaux.

Une autre solution est d'utiliser les capteurs d'électrocorticographie (ECoG, utilisé en diagnostic) implantés à l'extérieur du cortex. L'équipe de Pittsburgh a aussi fait des essais cliniques avec l'ECoG. Des tests de faisabilité, pour l'instant : le patient a pu piloter le mouvement d'un curseur. L'ECoG et le sans-fil sont deux choix technologiques clés du projet mené au laboratoire Clinatex (CEA, CHU de Grenoble, Inserm, Université Joseph Fourier), sous la direction d'Alim-Louis Benabid, neurochirurgien et spécialiste de la stimulation électrique du cerveau (traitement de la maladie de Parkinson...). L'objectif est très ambitieux : connecter le cerveau d'un patient tétraplégique à un exosquelette pour qu'il puisse en commander les quatre membres. Les microélectrodes, trop locales, ne conviendraient pas pour piloter bras et jambes. Par ailleurs, l'équipe française veut s'affranchir de la durée limite d'implantation, aujourd'hui de 28 jours.

La précision attendue a été atteinte

Un implant ECoG de 64 électrodes, sans fil, a été conçu pour répondre aux contraintes de miniaturisation, de consommation électrique et de biocompatibilité. Il a été testé lors d'essais précliniques sur des singes. Un important travail sur les algorithmes de traitement des signaux a permis d'atteindre la précision voulue. « L'implant est prêt pour des essais cliniques, sa qualification par des organismes de normalisation est en cours », précise Corinne Mestais, la coordonnatrice technique du projet au CEA-Clinatex. Un autre usage possible des neuroprothèses est de réactiver les nerfs ou les muscles dans le corps du patient, notamment chez des personnes amputées. En Suisse, à l'École polytechnique fédérale de Lausanne, le Centre de neuroprothèses a mis au point une technique de stimulation électrique de la moelle épinière qui rétablit les connexions entre le cerveau et les membres. En 2014, grâce à ce dispositif, des rats paralysés ont retrouvé l'usage de leurs membres. Le laboratoire suisse prévoit de commencer des essais cliniques durant l'été 2015. La Suisse renforce sensiblement sa recherche sur les neuroprothèses. C'est John Donoghue, le patron de l'équipe pionnière de la Brown University, qui prend en 2015 la direction du Centre de neuro-ingénierie nouvellement créé sur le Campus biotech de Genève. ■



LES ROBOTS TRAVAILLENT EN ESSAIM

UNE TECHNOLOGIE POUR...

Faire coopérer des centaines ou des milliers de petits robots à une même tâche

Surveiller ou effectuer des mesures sur une zone géographique (recherche de victimes après une catastrophe, exploration d'un terrain...)

Transporter ou construire, comme le font certains insectes sociaux

Faire travailler ensemble deux ou trois robots, ce n'est pas facile. C'est même un sujet de recherche en vogue, la «cobotique», ou l'art de contrôler plusieurs robots pour les faire participer à une même tâche. Mais certains chercheurs ont déjà d'autres ambitions : une coopération entre des centaines, voire des milliers d'engins.

C'est à Harvard que sont nés les biens nommés Kilobot, des petits robots mobiles de la taille d'une pièce de monnaie. Une troupe de plus de 1 000 Kilobot a, par exemple, montré qu'elle savait s'organiser pour réaliser une forme programmée. Les petits drones du projet CollMot (Collective Motion, à l'université de Budapest) n'ont rien d'extraordinaire : des quadricoptères, presque banalisés aujourd'hui. Mais quand une dizaine de quadricoptères s'organisent pour voler en formation, ce ne sont plus des jouets... Avec des dizaines ou des centaines de robots qui s'agitent en même temps, c'est la conception même de la robotique qui est à revoir.

Inspirés des insectes sociaux

Inutile d'espérer programmer et contrôler indépendamment chaque individu, dans ce qu'on appelle un essaim ou une colonie de robots. L'inspiration, on le voit, est autant du côté de la biologie animale que des automatismes. Un détour nécessaire pour viser des applications comme la surveillance d'une zone (trafic, catastrophe...), la recherche d'une cible et, pourquoi pas, un système collectif de transport ou de construction.

Avant de faire voler en formation leurs quadricoptères, les chercheurs du projet CollMot ont beaucoup observé les oiseaux et ont établi des modèles numériques de leurs vols pour mieux les comprendre. À Harvard, les spécialistes de la robotique en essaim («swarm robotics») s'intéressent de près à la vie des insectes sociaux, abeilles, fourmis et termites. «Le principe de la robotique en essaim est de faire émerger des comportements intelligents à partir de règles simples appliquées par de nombreux robots en interaction», résume Lounis Adouane, chercheur à l'université Blaise Pascal de



À Harvard, les chercheurs ont créé un essaim de 1 000 Kilobot qui ont travaillé ensemble.

Clermont-Ferrand (Puy-de-Dôme). Les Kilobot, fabriqués par la société suisse K-Team, sont simples : trois pattes, deux moteurs-vibrateurs pour se déplacer en induisant des translations et des rotations, et un émetteur-récepteur pour communiquer avec leurs plus proches voisins. Ils sont programmés en une fois, par téléchargement. Le Laboratoire d'informatique de Paris 6 (LIP6, UPMC-CNRS) s'est équipé de Kilobot. Une dizaine, cinquante à la fin de l'année. L'objectif est de tester des algorithmes leur permettant d'effectuer en autonomie un mouvement d'ensemble : se rassembler ou se disperser pour couvrir au mieux une zone de topologie inconnue.

«Un avantage du contrôle décentralisé est qu'il permet au système de s'adapter à un environnement qui n'est pas connu d'avance, ou changeant», indique Sébastien Tixeuil, chercheur au LIP6. Oui, mais une fois que l'on a défini globalement le but de l'opération, comment faire adopter par les robots le comportement qui leur permettra

D.R.

LES DÉFIS À RELEVER

- **Construire à bas coût** des minirobots simples et robustes
- **Mettre au point** des algorithmes de contrôle décentralisé
- **Prendre en compte** les contraintes liées au grand nombre de robots : pannes, erreurs de mesure, pertes d'information...

de l'atteindre ? Pour tenter de répondre à cette question, les chercheurs d'Harvard se sont inspirés des termites. Modestement, ils ont commencé par une «colonie» de trois termites. Trois petits robots mobiles sur roues, dotés d'un moyen de manutention, qu'ils font jouer au Lego, en les chargeant de bâtir une structure avec des briques standards qui s'emboîtent. Chaque robot termite est bardé de capteurs, mais ne communique qu'avec ses congénères et son environnement. Le point clé, c'est que les règles simples qu'il applique ont été extraites d'un modèle numérique de l'édifice à construire. Évidemment, dès que l'on fait croître le nombre d'agents, de nouveaux problèmes se posent. Dans le projet Robobee (Harvard, toujours), le modèle est l'abeille. Ou plutôt, les milliers d'abeilles d'un essaim, et leur comportement collectif.

Les microdrones disponibles sur le marché sont encore loin de la taille et de l'agilité des insectes, mais c'est leur programmation qui est ici étudiée. L'équipe américaine développe des langages dans le but non d'optimiser le comportement de chacun, mais celui de l'essaim globalement. «Pour qu'un objectif soit atteint, il n'est pas nécessaire que 100 % des agents soient efficaces, il suffit d'observer les fourmis. Il y a une part d'incertitude dans le système et c'est cela aussi qui lui permet de s'adapter», souligne Lounis Adouane. Pour avancer, la simulation est un outil précieux. Après avoir fait voler en formation 11 minidrones, les chercheurs hongrois affirment, résultats de simulation à l'appui, que leur modèle de contrôle décentralisé est transposable à plus grande échelle.

Améliorer le comportement de la colonie

Passer de la simulation à la pratique peut réserver des surprises. Dans les modèles mathématiques, les robots se déplacent avec une précision parfaite, mesurent sans erreur la distance avec leurs voisins, et ne perdent jamais d'informations en route. Dans la vraie vie, ça ne se passe pas comme ça... «Nous travaillons sur la manière de prendre en compte ces erreurs réalistes dans les algorithmes de contrôle», signale Sébastien Tixeuil. De plus, quand le nombre de robots s'accroît, en attendant de savoir exploiter au mieux le comportement global de la colonie, ce sont surtout les risques d'avoir des pannes qui augmentent ! Il est vrai qu'il n'est pas forcément nécessaire de réunir beaucoup de robots pour agir efficacement. La démonstration a été faite par la marine américaine, avec 13 petits bateaux robots, donc sans équipage, qui coordonnent leurs manœuvres pour escorter un navire, et même intercepter une embarcation considérée comme menaçante. On est loin des colonies d'insectes, mais l'Office of naval research (ONR) appelle tout de même ses créatures des «swarmboats», des bateaux en essaim... ■ ➔



Fiable. Précisément
comme notre logistique.

Des préparations de commandes sans erreur et des livraisons en temps et en heure sont la norme chez nous. Nos clients le reconnaissent : un taux de satisfaction de 99,5 % est une des preuves du professionnalisme de notre logistique.

Découvrez ce qui se cache derrière :
www.poeppelmann.fr



PÖPPELMANN

KAPSTO®

Plastiques Pöppelmann France S.A.S. · 3 rue Robert Schuman · B.P. 87
68172 Rixheim Cedex · France · Téléphone +33 (0) 3 89 63 33 10
Fax +33 (0) 3 89 54 05 97 · kapsto-fr@poeppelmann.com
www.poeppelmann.fr



« Le contrôle décentralisé d'un grand nombre de robots permet de faire émerger un comportement global à partir des décisions individuelles de chaque robot. »

Sébastien Tixeuil, chercheur au Laboratoire d'informatique de Paris 6 (LIP6)



LES ANALYSES À HAUT DÉBIT DE LA MICROFLUIDIQUE

UNE TECHNOLOGIE POUR...

Le diagnostic biomédical

Le séquençage de l'ADN

Le criblage à très haut débit de molécules ou de formulations chimiques

De toutes les technologies de rupture présentées ici, c'est sûrement la plus industrialisée. Nombre d'entreprises du secteur biomédical, comme Abbott, Bio-Rad, Roche, Alere ou Cepheid, disposent maintenant des instruments de diagnostic

fondés sur la microfluidique. Des appareils qui manipulent des quantités infimes de liquide pour réaliser des analyses, et dont le cœur est une « puce » dans laquelle ont été gravés des canaux, et parfois des vannes et des pompes, à l'échelle du micron. Très compacts, ils sont destinés aux analyses hors laboratoire (à l'hôpital, chez le médecin, à la maison...). Mais à côté de ce secteur industriel en croissance - il représentait 1,6 milliard de dollars (1,1 milliard d'euros) en 2013, selon le cabinet de conseil en stratégie Yole Développement - la microfluidique reste un domaine de recherche en ébullition. Quelque 10 000 chercheurs y travaillent dans le monde (environ 400 en France) et plus de 200 start-up se sont lancées.

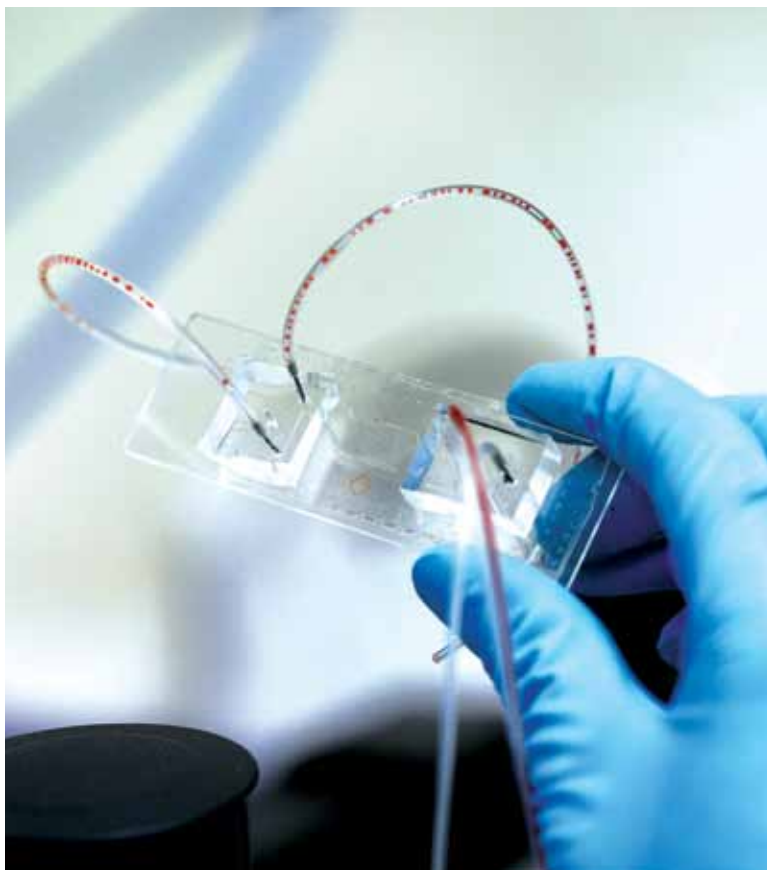
Travailler sur des échantillons minuscules

Ces dispositifs permettent de travailler avec des nanolitres, des volumes mille fois inférieurs à ceux manipulés par des méthodes traditionnelles. Le point clé, outre la possibilité de travailler avec de minuscules échantillons, est qu'à cette échelle la physique des fluides change du tout au tout : les écoulements se font sans turbulence, les échanges thermiques sont très efficaces et les mélanges très rapides. Au département de bio-ingénierie de l'université de Stanford, le groupe spécialisé en microfluidique a mis au point des méthodes de fabrication de puces comportant des canaux et surtout des milliers de microvannes pour piloter la circulation des fluides. Le laboratoire est à l'origine de la société Fluidigm, qui produit des puces destinées au séquençage de l'ADN. Les équipes de Stanford poursuivent leurs efforts d'intégration de fonctions, y compris en développant des logiciels de conception du type CAO, inspirées de celles des circuits intégrés électroniques. Dans une autre optique, les puces microfluidiques peuvent servir de modèles pour simuler des phénomènes biologiques, comme la membrane de la cellule et ses microcanaux, qui assurent ses échanges avec son environnement. Un dispositif mis au point à l'université de Twente (Pays-Bas) permettra de tester des médicaments



« L'objectif n'est pas forcément d'intégrer le maximum de fonctions sur une puce, mais de répondre à des problèmes posés à partir d'un catalogue de solutions. »

Patrice Tabeling, directeur de l'Institut Pierre-Gilles de Gennes



L'ESPCI développe des puces microfluidiques pour la recherche en génomique.

LES DÉFIS À RELEVER

- **Intégrer des composants** (canaux, pompes, vannes...) pour réaliser des fonctions complexes
- **Développer des filières** de puces microfluidiques à bas coût, par exemple pour effectuer des diagnostics médicaux ou environnementaux sur le terrain

actifs sur la membrane. Plus généralement, des puces servent à simuler la physiologie élémentaire d'un organe (alvéole pulmonaire...), voire de plusieurs, comme l'ont montré récemment des chercheurs allemands de l'Institut Fraunhofer, en plaçant des cellules d'organes dans des microcavités, tandis qu'un liquide circule en permanence entre elles.

Des milliers de tests en un temps record

Une autre branche de la microfluidique est fondée sur la production de milliers de gouttes à la seconde. Autant de microcompartiments pour mélanger, faire réagir et analyser des substances biochimiques ou chimiques. Un laboratoire de l'École supérieure de physique et de chimie industrielles de la ville de Paris (ESPCI) s'en est fait une spécialité, en particulier pour la recherche en génomique. Mais l'école a aussi signé un accord avec Sanofi pour étudier le test à haut débit de la toxicité potentielle de futurs médicaments. Le chimiste Solvay a, lui, développé des techniques de microfluidique qui lui permettent de tester des milliers de formulations en un temps record. Sujet de recherche intensive, la microfluidique est aussi un instrument d'accélération de la recherche. ■

PAGE SUIVANTE
Comment Google veut
connecter l'univers