

Grand Prix pour bolides moléculaires

NANOTECHNOLOGIES | A Toulouse, des équipes de physico-chimistes du monde entier testent les comportements de molécules en vue d'une prochaine course de « voitures » microscopiques

DAVID LAROUSSE

Trois... deux... un... Partez! Le 27 novembre, à Toulouse dans le cadre du festival de science et technologie Futurapolis, sera donné le coup d'envoi officiel d'une compétition très originale qui s'achèvera fin 2016: la plus petite course de voitures du monde. Pas des véhicules à pédales ni des miniatures d'enfants, mais des bolides à l'échelle moléculaire, c'est-à-dire de moins de trois nanomètres de long. Soit environ 100 000 fois plus fin qu'un cheveu...

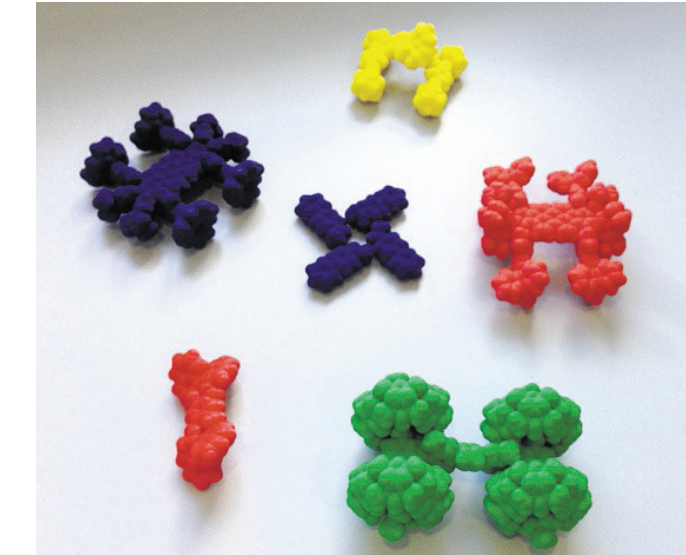
Dans un gaz, les molécules virevoltent. En biologie ou en chimie, elles s'assemblent ou changent de formes. Mais penser qu'une de ces constructions faite de dizaines d'atomes de carbone ou d'hydrogène puisse tourner, avancer, glisser... à la manière d'engrenages, de roues, voire de moteurs, est assez nouveau. « De même que la formule 1 sert en partie au progrès des technologies automobiles, cette course servira à mieux comprendre le comportement mécanique et électronique d'une seule molécule », indique Christian Joachim, chercheur CNRS au Centre d'élaboration de matériaux et d'études structurales (Cemes) et organisateur de ce premier Grand Prix, soutenu par EDF et Peugeot.

« Le but n'est pas de fabriquer des voitures pour les vendre. C'est de développer des technologies à l'échelle des atomes et des molécules et d'attirer l'attention du public sur ces domaines », souligne Saw Wai Hla, professeur à l'université d'Etat de l'Ohio et l'un des cinq inscrits à la course. Avec de telles dimensions, ces voitures sont invisibles à l'œil nu mais aussi pour les microscopes optiques

« Cette compétition repoussera les limites de ces microscopes »

GWÉNAËL RAPENNE
chercheur au Centre d'élaboration de matériaux et d'études structurales

les plus puissants. D'où le recours à des caméras bien particulières pour les filmer: les microscopes à effet tunnel (STM en anglais). Ces derniers, inventés en 1981 par IBM, ont permis l'essor des nanotechnologies. « Grâce à eux, nous avons mieux vu les molécules une par une, déplacé des atomes... La course servira à repousser les limites de ce qu'ils peuvent faire », explique Gwénaél Rapenne, du



Modèles en plastique des molécules-voitures, qui vont concourir jusqu'à fin 2016. CHRISTIAN JOACHIM/CEMES-CNRS

Cemes. Comme vérifier si les roues tournent ou glissent, comprendre ce qui bouge dans les moteurs, quelle intensité du courant doit être appliquée pour les faire avancer...

L'équipe de Toulouse dispose depuis un an d'un appareil quasiment unique au monde, fabriqué par ScientaOmicron, également sponsor de la course. Comme tout STM, il possède une pointe très fine en tungstène au bout de laquelle est déposée une poignée d'atomes d'or. Magie de la mécanique quantique, des électrons peuvent passer sans contact entre cette pointe et les objets à scruter. Le courant électrique varie très rapidement avec la distance entre l'extrémité de la pointe et l'objet, ce qui permet de faire des images, jusqu'à voir des détails de dimension inférieure à 0,005 nanomètre. Les pointes peuvent aussi mesurer des courants pour saisir les propriétés d'une molécule qui bougerait, par exemple. Et elles peuvent également apporter l'énergie nécessaire pour activer un moteur moléculaire.

Particularité du STM du Cemes: il possède quatre pointes indépendantes, sous vide et à très basse température (-268 °C). Quatre véhicules pourront s'affronter sur une même surface d'or. « La première étape sera une sorte de permis de conduire.

Chaque pilote doit d'abord créer la piste en déplaçant deux plots d'atomes d'or pour matérialiser la ligne de départ et deux autres pour l'arrivée », détaille Christian Joachim. Ensuite, le chauffeur fera avancer son « engin », à raison, sans doute, de moins de un nanomètre par seconde, sur une trentaine de nanomètres. « Cela dépend du mode de propulsion. On peut les pousser, ce qui est plus rapide mais a déjà été fait de nombreuses fois. Le plus intéressant scientifiquement est de fournir, grâce au microscope, des impulsions électriques près des voitures », précise Christian Joachim.

Bien sûr, ce coûteux instrument (1,6 million d'euros), n'est pas fait pour s'amuser. Les chercheurs développent aussi l'électronique moléculaire et testent des circuits aux composants très petits, comme des fils constitués d'une chaîne d'un atome de large. Grâce aux multipointes, le courant est apporté et l'effet mesuré.

Pendant quinze jours, en octobre, l'équipe allemande de Francesca Moresco (université technique de Dresde) a commencé l'entraînement avec ce microscope. Leur véhicule est une sorte de Transformer: il prend seul l'allure d'une croix à quatre branches sous l'effet de la diffusion naturelle des molécules sur la

surface. Pas de chance pour le pilote: lors des essais, les quatre pattes se sont déposées sur la surface mais elles ne se sont pas assemblées...

Les japonais de l'Institut national des sciences des matériaux (Tsukuba) viennent eux aussi d'arriver à Toulouse. Leur moteur est original: deux « palmes » qui montent et descendent dans les liquides mais jamais sur une surface solide. « Cela a été démontré dans les liquides mais jamais sur une surface solide. C'est ce que nous voulons tester », explique la responsable de l'équipe, Waka Nakanishi.

Les concurrents américano-autrichiens, emmenés par James Tour (université Rice, Etats-Unis), le premier à avoir fabriqué une nanovoiture en 2005, et Leonhard Grill (université de Graz, Autriche), sont dans les starting-blocks avec un prototype inédit. Deux axes, quatre roues, et au centre un « moteur » qui change de forme sous l'effet d'un courant.

Enfin, la voiture toulousaine, déjà présentée en 2012, est prête. Sa fabrication a demandé près de six mois et des dizaines d'étapes. Elle possède quatre roues, deux axes et un châssis perpendiculaire. « On cherche encore le pilote! », sourit Christian Joachim. Avis aux amateurs... ■

TÉLESCOPE
Physique
Un synchrotron pour l'Afrique
L'objectif est clair: doter l'Afrique de sa première source à rayonnement synchrotron - des rayons X qui permettent de sonder la matière. Pour cela, quatre revirements scientifiques internationaux, réunis du 16 au 20 novembre au synchrotron européen de Grenoble (ESRF), ont établi une feuille de route afin de permettre au continent de disposer de ce grand instrument, utilisé en physique fondamentale, en recherche médicale et en science des matériaux. Le lieu d'implantation n'a pas encore été décidé. La « déclaration de Grenoble » adoptée à l'issue des travaux y voit l'occasion de contribuer « à la "renaissance" de la science africaine, au retour de la diaspora scientifique africaine, au développement de compétences hautement qualifiées, à la formation d'une nouvelle génération de scientifiques, à la croissance et à la compétitivité de l'industrie africaine et au développement de recherches utiles pour le continent africain ».



Zoologie
Le génome phénoménal du tardigrade
C'est une des créatures les plus résistantes qui soient: le tardigrade peut survivre au vide spatial, au froid, à la chaleur, aux rayonnements, à la dessiccation, à la salinité et à la pression. Le génome de cet animal minuscule - il ne dépasse pas 1,5 millimètre - réserve aussi quelques surprises: près de 17,5% de son ADN, soit 6 000 gènes, proviennent de bactéries, mais aussi de plantes, de champignons et d'archées. Ce transfert de gènes intervient lors de la dessiccation de l'animal, qui peut perdre 99% de son eau: son propre ADN serait alors réduit en fragments, auxquels viendraient s'accoler des morceaux d'ADN étrangers lors de la reconstitution de son génome, lorsque les conditions environnementales redevenaient normales. (PHOTO: SINCULAR STAMMER) > Boothby et al., « PNAS », 23 novembre.

99
C'est le pourcentage de détection des trisomies 21 obtenu par la recherche d'ADN fœtal dans le sang maternel chez les femmes à risque, selon une analyse de la littérature internationale effectuée par la Haute Autorité de santé (HAS). Le taux de faux positifs (test positif en l'absence de trisomie) est, lui, évalué à moins de 1%, toujours dans cette population à risque. Après l'évaluation des performances, la HAS va étudier les enjeux éthiques, économiques et organisationnels pour définir précisément la place de ces nouveaux tests dans la stratégie de dépistage de la trisomie 21. Ces tests permettront de diminuer le recours aux amniocenteses et biopsies de trophoblastes, examens de référence pour le diagnostic d'anomalie chromosomique.

Ecologie
Les arbres d'Amazonie menacés
Une vaste étude internationale estime qu'entre un tiers et la moitié des espèces d'arbres amazoniens seraient menacés d'ici à 2050, selon les scénarios de gestion de la forêt suivis. De 1600 à 2100 espèces (sur les 15200 environ recensées) seraient même très menacées, comptant moins de 1000 pieds d'ici quarante ans. Ces modèles reposent sur près de 1500 inventaires répartis sur les 5,74 millions de kilomètres carrés de la zone. Les scénarios vont d'une gestion protectrice des forêts à un « laisser-faire ». Cette dernière option a conduit à près de 12% de diminution de la surface depuis un siècle. > Steege et al., « Science Advances », 20 novembre.

Le mystère des bibles en vélin en partie gommé

Une étude précise l'origine du fin parchemin utilisé dans des ouvrages religieux médiévaux

Au XIII^e siècle, l'Europe s'est entichée de « bibles de poche », des ouvrages manuscrits dont les pages étaient d'une finesse admirable. Peu décorées, elles n'ont rien d'ostentatoire, mais visent à aider les religieux à répandre la bonne parole. « Rien qu'à Paris, elles ont été produites à 20 000 exemplaires », note Annelise Binois (laboratoire ARS-CAn - Archéologies et sciences de l'antiquité, UMR 7041, Nanterre). Zooarchéologue et vétérinaire, elle cosigne une étude, publiée le 23 novembre dans les PNAS, visant à déterminer la provenance animale du parchemin. Un exergue de Shakespeare, inhabituelle dans un article scientifique, résume le mystère qui entoure ces feuilles si délicates:

« Le parchemin n'est-il pas fait de peau de mouton? », s'interroge Hamlet. « Oui, mon seigneur, et de peau de veau aussi », lui répond Horatio. Les spécialistes s'interrogent toujours sur l'origine de ce fameux vélin, dont l'épaisseur peut n'être que de 0,03 millimètres. Provient-il de veaux mort-nés, comme le laissent entendre la chronique et l'étymologie, veul désignant le veau en ancien français? Ou bien de petits animaux, comme le lapin ou l'écreuil?

Pour en avoir le cœur net, une équipe internationale coordonnée par Sarah Fiddyment (université de York, Royaume-Uni) a collecté 72 de ces bibles et 293 manuscrits de la même époque, dans trois pays (France, Italie, Royaume-Uni), pour analyser

la composition des parchemins. Mais pas question, pour les conservateurs de ces précieuses reliques, de céder d'un pouce sur leur intégrité. « Habituellement, on attend qu'un exemplaire soit restauré pour récupérer des chutes, rappelle Annelise Binois. Cette fois, nous avons utilisé une technique non destructive. »

Fragments de collagène
Il s'agit tout bonnement d'une gomme en PVC, stérilisée, qui par force électrostatique arrache des fragments de collagène sans abîmer les manuscrits. « Les conservateurs eux-mêmes l'utilisent pour nettoyer les vélin », souligne Annelise Binois. Les rognures sont ensuite passées dans un spectromètre de masse qui, pour un coût modi-

que, distingue les séquences des protéines de collagène propres à chaque espèce. Cette technique a été préférée à des analyses ADN, plus coûteuses, dont chacune aurait nécessité de prélever 5 milligrammes de parchemin. Verdict? Il n'y avait pas de peau de lapin ou d'écreuil dans les échantillons, seulement les trois espèces classiques: en France en majorité du veau, mais aussi des chèvres et des moutons, correspondant aux animaux élevés dans la région de fabrication des bibles. L'origine « exotique » du vélin étant écartée, restait la question de l'âge des animaux utilisés, car le sacrifice de jeunes veaux aurait constitué une pratique d'élevage guère soutenable. En fait, « la mortalité périnatale,

dont les registres de l'époque montrent qu'elle était de 10% à 20%, suggère qu'il n'était pas impossible de trouver suffisamment de veaux mort-nés ou morts moins d'un mois après la naissance pour produire ces vélin », indique Annelise Binois. Mais les chercheurs pensent que des techniques d'amincissement des peaux, qui restent à redécouvrir - ponçage, division dans l'épaisseur? - auraient aussi été utilisées sur des animaux moins jeunes. Ces hypothèses nécessiteront des études complémentaires: la recherche de quatre protéines « périnatales », qu'on ne trouve qu'au moment de la naissance des veaux, est restée infructueuse. ■

HERVÉ MORIN