

Les fous du nanovolant

Une course insolite se prépare à Toulouse. Elle opposera des « voitures » à l'échelle de l'atome. Objectif : tester un nouveau microscope unique au monde.

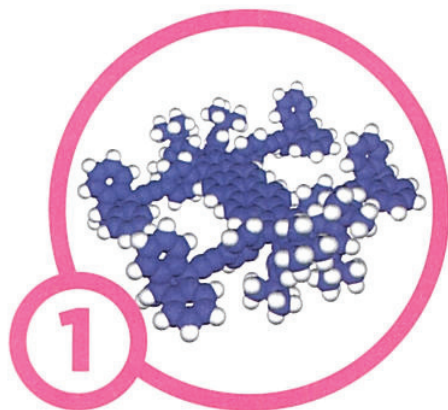
TOP DÉPART ! DÈS LE PREMIER VIRAGE, la voiture du Toulouse Nanomobile Club est en tête, talonnée par celle du Nanocar Team Rice... Tous les concurrents font le maximum pour contrôler leur machine. Mais au deuxième virage, un bolide percute... un atome d'or. La voiture est hors service. Pour l'équipe, la course est terminée.

Comment un atome d'or peut-il bien sceller le sort d'une voiture de course ? Réponse : la « formule 1 » en question affiche deux nanomètres (milliardième de mètre) de longueur, 25 000 fois plus petit que l'épaisseur d'un cheveu. Et la piste sur laquelle elle

évolue environ 20 nanomètres. Quant à la course, ce doit être la première du genre, avec l'entrée en lice de six « nanovoitures ». Si tout va bien, elle se tiendra à Toulouse début 2015. Pour l'heure, les préparatifs battent leur plein au Cemes (Centre d'élaboration de matériaux et d'études structurales, CNRS), spécialisé dans les nanomatériaux, de la conception à l'étude de leur fonctionnement en passant par leur synthèse chimique. Christian Joachim et Gwénaél Rapenne, ses créateurs, voient dans cette course inédite un moyen de tester leur nouvelle machine de manipulation d'atomes, construite par la société

Omicron et unique au monde : LT Nanoprobe, c'est son nom, constituée de quatre microscopes à effet tunnel (connu sous le sigle anglais STM, *scanning tunneling microscope*). Inventé en 1981, le microscope STM est devenu, rappelons-le, l'outil courant permettant de visualiser des atomes et de les manipuler un par un (*lire l'encadré p. 46*). Un microscope, ça va, mais quatre à la fois ? « Cette mise en œuvre, sans qu'aucun des quatre n'en perturbe un autre, est extrêmement délicate », souligne effectivement Christian Joachim. Et d'admettre que « les difficultés techniques et budgétaires à surmonter sont encore nombreuses ».

Les premières écuries et les pilotes en lice



1

TOULOUSE NANOMOBILE CLUB

Cemes-CNRS (France)

Pilotes : Gwénaél Rapenne et Christian Joachim

Testées sous microscope STM : les roues



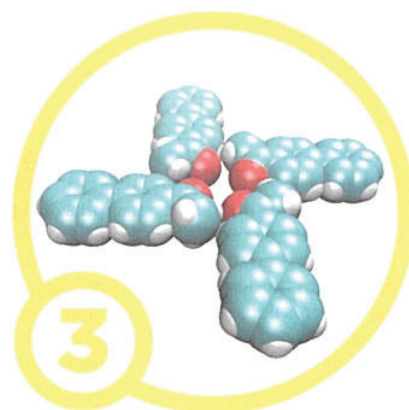
2

NANOCAR TEAM RICE

Université Rice (États-Unis) et F. Haber Max Planck, Berlin (Allemagne)

Pilotes : James Tour et L. Grill

Testé sous microscope STM : oui



3

DRESDEN NANO-WINDMILL COMPANY

Université de Dresde (Allemagne)

Pilotes : Anja Nickel et Francesca Moresco

Testé sous microscope STM : oui

À ce jour, la machine est annoncée comme devant être livrée en juin. Et la préparation de la course elle-même doit obéir à un calendrier bien précis.

Trois semaines avant le jour J, les concurrents (voir ci-dessous) doivent arriver à Toulouse pour s'entraîner. S'ils sont plus de quatre — soit un par microscope STM —, des sélections seront organisées avant la course finale. Chacun apporte un tube renfermant 10 milligrammes... de voiture, autrement dit de la molécule voiture sous forme cristallisée. Celle-ci aura été fabriquée par synthèse chimique, moyennant de nombreuses étapes. C'est l'un des concurrents, James Tour, de l'université Rice, à Houston (États-Unis), qui a fabriqué le premier une nanovoiture en 2005. « Depuis, nous avons réalisé plus de 20 modèles différents, explique-t-il. Aujourd'hui, la synthèse chimique n'est plus la principale difficulté. Le plus compliqué, c'est d'être capable de suivre en temps réel leur mouvement sur une surface, et de démarrer leur moteur. » Ces moteurs consti-



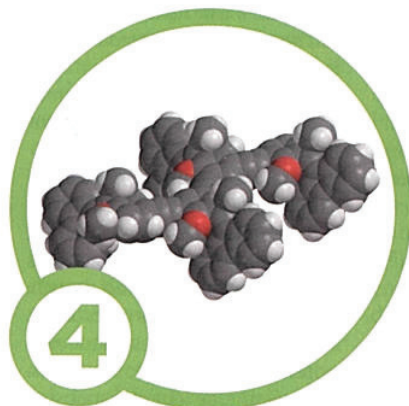
Christian Joachim présente la modélisation 3D (grossie 100 millions de fois) de la voiture moléculaire qu'il pilotera (n° 1, p. 44).

tués d'une molécule tournante sont à l'étude dans les laboratoires de nanotechnologies à travers le monde. Sur une nanovoiture, ils n'entraînent pas de roues par l'intermédiaire d'une transmission, comme pour un moteur classique, mais la font avancer en interagissant avec la piste. En théorie tout au moins, car cela n'a,

pour le moment, pas été démontré formellement... Seul James Tour devrait aligner une voiture « motorisée » et tenter de la propulser par ce moyen. Les autres en seront dépourvues, et c'est le STM lui-même qui les fera avancer. Mais auparavant, il faudra les disposer sur la ligne de départ.

Des atomes d'or serviront à dessiner le parcours

Le jour de la course, le contenu des tubes sera évaporé sur une surface en or ultrapropre placée au centre de la machine LT Nanoprobe avec ses quatre microscopes STM. Chaque concurrent se verra affecter un microscope à l'aide duquel il isolera sa molécule pour la course. Puis, il construira sa piste, en écrasant gentiment l'extrémité de la pointe du microscope sur la surface d'or. Quelques atomes d'or seront éjectés de la surface et, déplacés un à un, dessineront le parcours. Au contraire d'un circuit de formule 1, il y aura une piste pour chaque concurrent. Un huissier certifiera que toutes les pistes sont identiques. Une fois

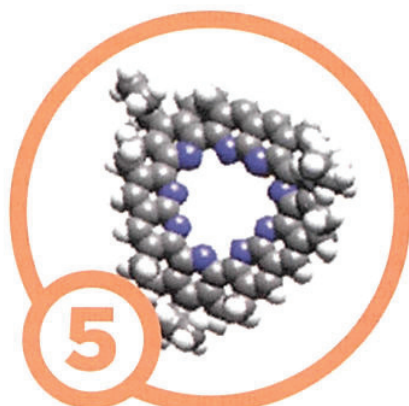


MANA NANOVEHICLE

National Institute for Materials Science (Japon)

Pilotes : Yasuhiro Shirai et Takashi Nakanishi

Testé sous microscope STM : en cours

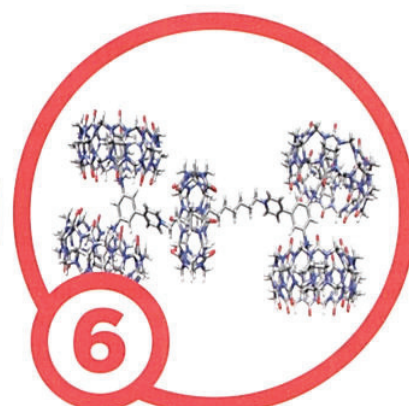


CALIFORNIAN NANORACING

Université de Californie Los Angeles (États-Unis)

Pilotes : Jim Gimzewski

Testé sous microscope STM : non



OHIO BOBCAT NANOWAGON TEAM

Université de l'Ohio (États-Unis)

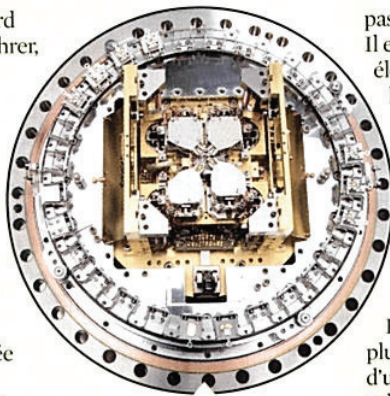
Pilotes : Saw Wai Hla et Eric Masson

Testé sous microscope STM : non

MÉCANIQUE QUANTIQUE

Les prouesses du microscope à effet tunnel

Inventé en 1981 par Gerd Binnig et Heinrich Rohrer, deux chercheurs des laboratoires d'IBM à Zurich (Suisse), qui ont reçu pour cela le prix Nobel de physique en 1986, le microscope à effet tunnel (STM) est constitué d'une pointe que l'on approche à moins d'un nanomètre de la surface à étudier. Une tension est appliquée entre l'échantillon et la pointe. Il se produit alors un phénomène quantique, l'effet tunnel ; des électrons de la surface de l'échantillon



Les quatre microscopes à effet tunnel du LT Nanoprobe du Pico-Lab-Cemes-CNRS (au centre de la photo), où se déroulera la course.

passent dans la pointe. Il en résulte un courant électrique. Comme la hauteur de la pointe est ajustée en permanence pour maintenir ce courant constant, on peut ainsi reconstituer la topographie de l'échantillon, atome par atome, et déterminer ses propriétés électroniques. En approchant encore plus la pointe au-dessus d'un atome de l'échantillon, celui-ci voit son adsorption à la surface modifiée. On peut donc déplacer des atomes par ce moyen.

► le départ donné, les véhicules progresseront grâce à l'un des deux modes de propulsion autorisés : une impulsion électrique ou une impulsion photonique (lumière), basées sur l'excitation de leurs molécules. La première consiste à appliquer une tension durant un temps très court sur une partie de la voiture grâce au STM. La molécule, excitée, se déforme puis revient à son état initial, ce qui la fait avancer sur une distance équivalant à au moins un atome. Cette méthode sera utilisée par la majorité des concurrents. Deuxième possibilité, que pourrait choisir James Tour : utiliser de la lumière, amenée par une fibre optique. Ce sont alors les photons qui exciteront le moteur, une molécule particulière avec une partie mobile, placée au centre

de la voiture. Mais cette option est techniquement complexe, et il n'est pas certain qu'elle puisse être mise en œuvre. Une fois le départ donné, chaque équipe suivra les déplacements de sa voiture par image STM sur son écran de contrôle. Il s'agira de faire slalomer son bolide entre les plots d'atomes d'or jusqu'à la ligne d'arrivée. Pour prendre les virages dans un sens ou dans l'autre, on applique la petite impulsion de tension électrique positive ou négative entre la pointe et la surface d'or. C'est là que les talents de pilotes vont se révéler. Car si la molécule-voiture se rapprochait trop d'un atome d'or, une liaison chimique se créerait, la rendant inutilisable. Si la voiture fait un sans-faute sur les 20 nanomètres du parcours, elle doit franchir la

ligne d'arrivée matérialisée par deux atomes d'or. Durée maximale de la course : trois jours. Au-delà, les réserves d'hélium — dont le coût dépasse 15 000 € — qui permettent de refroidir l'enceinte contenant les quatre STM du LT Nanoprobe à $-269\text{ }^{\circ}\text{C}$ afin de garantir un environnement ultra-stable, seront épuisées.

Les applications possibles ne sont pas pour demain

Le vainqueur aura droit à un repas gastronomique dans un restaurant toulousain. Mais la course n'est pas qu'anecdotique. Elle répond à des défis techniques et scientifiques. Maîtriser LT Nanoprobe permettra, par exemple, de construire plus rapidement des circuits électroniques à l'échelle atomique. Au plan théorique, l'objectif est de mieux comprendre comment se propage une excitation au sein d'une molécule. À la clé, des applications lointaines pour lesquelles l'imagination des chercheurs n'a pas de limites. « Des nanomoteurs pourraient propulser des nanorobots autonomes capables, par exemple, d'aller surveiller et réparer les mutations génétiques dans l'organisme », imagine Christian Joachim. « Une nanovoiture pourrait attraper de petites molécules et les assembler pour construire un objet, par exemple une mémoire informatique fondée sur des propriétés quantiques », rêve James Tour. En attendant, Christian Joachim espère qu'une telle course stimulera le secteur des nanomachines, comme les compétitions de robots footballeurs l'avaient fait pour la robotique dans les années 1990. Reste à convaincre les financeurs potentiels, dont la Commission européenne, de jouer les sponsors pour la première édition, dont le coût est estimé à 200 000 €. Les chercheurs toulousains ne désespèrent pas de boucler leur budget pour commencer à temps. ■

Jean-François Haït



RICE UNIVERSITY, USA

« Le plus compliqué, c'est de suivre en temps réel leur mouvement sur une surface et de démarrer leur moteur »

James Tour Professeur de chimie à l'université Rice (États-Unis), premier concepteur au monde d'une nanovoiture, en 2005